

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования «Национальный исследовательский Томский
 политехнический университет»

Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки – 13.04.02 Электроэнергетики и электротехника
 Отделение электроэнергетики и электротехники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Разработка и исследование электропривода запорной арматуры нефтепровода

УДК 62-83:622.692.4.05

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM87	Фазлыяхметов Дамир Ривгатович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Чернышев А.Ю.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения социально-гуманитарных наук	Спицына Л.Ю.	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель отделения общетехнических дисциплин	Фех А.И.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ОЭЭ ИШЭ	Гарганеев А.Г.	профессор д.т.н		

Планируемые результаты обучения по ООП

Код	Результат обучения*	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
Общие по направлению подготовки		
P1	Совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, добиваться нравственного и физического совершенствования своей личности, обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности.	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1,6; ОПК-1, 2), Критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011, «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам»)
P2	Свободно пользоваться русским и иностранным языками как средством делового общения, способностью к активной социальной мобильности.	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-4,5; ОПК-3), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P3	Использовать на практике навыки и умения в организации научно-исследовательских и производственных работ, в управлении коллективом, использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности.	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-2,3; ОПК-1; ПК-1, 2, 3), Критерий 5 АИОР (п. 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P4	Иметь представление о методологических основах научного познания и творчества, роли научной информации в развитии отрасли, навыки проведения работ с привлечением современных информационных технологий, синтезировать и критически резюмировать информацию.	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1,6; ОПК-1, 4), Критерий 5 АИОР (п. 1.6, 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011, «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам»)
P5	Применять углубленные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности в области электроэнергетики и электротехники.	Требования ФГОС ВО (УК-5, ОПК-4; ПК- 4-6), Критерий 5 АИОР (п.1.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011, «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам»)
По профилям подготовки		
P6	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа в области электроэнергетики и электротехники с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности.	Требования ФГОС ВО (ПК-1, 7,8), Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (20.003, «Работник по эксплуатации оборудования релейной защиты и противоаварийной автоматики гидроэлектростанций/гидроаккумулирующих электростанций»)
P7	Выполнять инженерные проекты с применением оригинальных методов проектирования для достижения новых результатов, обеспечивающих конкурентные преимущества электроэнергетического и электротехнического производства в условиях жестких экономических и экологических ограничений.	Требования ФГОС ВО (ПК-2, 9, 10, 11), Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011, «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам»)
P8	Проводить инновационные инженерные исследования в области электроэнергетики и электротехники, включая критический анализ данных из мировых информационных ресурсов.	Требования ФГОС (ПК-3, 13, 14, 15, 24-26), Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (20.003, «Работник по эксплуатации

		оборудования релейной защиты и противоаварийной автоматики гидроэлектростанций/гидроаккумулирующих электростанций»)
P9	Проводить технико-экономическое обоснование проектных решений; выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда; определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса.	Требования ФГОС (ПК-11, 12, 13, 16-21, 24, 26) Критерий 5 АИОР (п. 1.5, 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P10	Проводить монтажные, регулировочные, испытательные, наладочные работы электроэнергетического и электротехнического оборудования.	Требования ФГОС (ПК-22, 23, 25, 26), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P11	Осваивать новое электроэнергетическое и электротехническое оборудование; проверять техническое состояние и остаточный ресурс оборудования и организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт.	Требования ФГОС (ПК-27, 28), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (20.003, «Работник по эксплуатации оборудования релейной защиты и противоаварийной автоматики гидроэлектростанций/гидроаккумулирующих электростанций»)
P12	Разрабатывать рабочую проектную и научно-техническую документацию в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами; организовывать метрологическое обеспечение электроэнергетического и электротехнического оборудования; составлять оперативную документацию, предусмотренную правилами технической эксплуатации оборудования и организации работы.	Требования ФГОС (ПК-29, 30), Критерий 5 АИОР (п. 1.3, 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011, «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам»)

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Инженерная школа энергетики
Направление подготовки – 13.04.02 Электроэнергетики и электротехника
Отделение электроэнергетики и электротехники

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
 _____ Гарганеев А.Г.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
5AM87	Фазлыяхметову Дамиру Ривгатовичу

Тема работы:

Разработка и исследование электропривода запорной арматуры нефтепровода	
Утверждена приказом проректора-директора (директора) (дата, номер)	27.02.2020 № 58-29/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	07.06.2020 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Электропривод запорной арматуры нефтепровода. Материалы производственной практики, техническая литература, техническая документация
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки</i>	Титульный лист Задание Реферат Введение

<p>техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</p>	<p>Раздел 1 Общие сведения об изделии. Назначение и принцип действия запорной арматуры, технологический процесс; Раздел 2 Расчет и выбор оборудования регулируемого электропривода; Раздел 3 Выбор и обоснование системы управления электроприводом; Раздел 4 Математическое описание обобщенной асинхронной машины; Раздел 5, 6 Разработка и исследование моделей электропривода; Раздел 7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; Раздел 8 Социальная ответственность; Заключение; Список литературы.</p>
<p>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - функциональная схема электропривода; - естественные механические и электромеханические характеристики; - графики переходных процессов электропривода; - имитационная модель, результаты моделирования;
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)</p>	
Раздел	Консультант
Основное исследование	Чернышев А.Ю.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Спицына Л.Ю.
Социальная ответственность	Фех А.И.
Иностранный язык	Качалов Н.А.
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:</p>	
Обзор аутентичной литературы по теме исследования	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	10.01.2020 г.
--	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Чернышев А.Ю.	к.т.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM87	Фазлыхметов Д.Р.		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки – 13.04.02 Электроэнергетики и электротехника
 Отделение электроэнергетики и электротехники
 Период выполнения осенний/ весенний семестр 2019/2020 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	07.06.2020
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) /вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
11.03.2020	Календарное планирование работ по теме	3
15.03.2020	Описание объекта исследования	3
22.03.2020	Подбор и изучение материалов по теме	3
25.03.2020	Составление и утверждение технического задания	3
1.04.2020	Расчет параметров электропривода	3
13.04.2020	Исследование работоспособности электропривода	6
18.04.2020	Анализ полученных данных	3
27.04.2020	Контроль качества выполнения проекта и консультирование студента	3
04.05.2020	Оценка эффективности проделанной работы	3
11.05.2020	Технико-экономические расчеты	3
15.05.2020	Вопросы экологической безопасности	3
18.05.2020	Составление пояснительной записки	4
24.05.2020	Итог	40

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень звание	Подпись	Дата
Доцент	Чернышев А.Ю.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень звание	Подпись	Дата
Руководитель ОЭЭ ИШЭ	Гарганеев А.Г.	Профессор д.т.н.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5AM87	Фазлыяхметову Дамиру Ривгатовичу

Школа	ИШЭ	Отделение школы (НОЦ)	Электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	Электропривод общепромышленных механизмов и технологических комплексов

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость бюджета проекта – не более 500 тыс. руб; Оклад руководителя - 27484 руб. Инженера - 17808 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	10 % материальные расходы 50 % расходы на оплату труда 10% накладные расходы 30% районный коэффициент Значение показателя интегральной ресурсоэффективности - не менее 4,5 баллов из 5.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	20% отчисления на социальные нужды

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Анализ конкурентных решений доказывает целесообразность проведения разработки
2. Разработка устава научно-технического проекта	Структура научно-технического проекта
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	План проекта для выполнения целесообразного и рационального планирования
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Расчет показателей эффективности проекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Сегментирование рынка
2. Оценка конкурентоспособности технических решений
3. Диаграмма FAST
4. Диаграмма Исикава
5. Матрица SWOT
6. График проведения и бюджет НТИ
7. Иерархическая структура работ проекта;
8. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	22.02.2020
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Спицына Л. Ю.	к.э.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM87	Фазлыяхметов Дамир Ривгатович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5AM87	Фазлыяхметову Дамиру Ривгатовичу

Школа		Отделение (НОЦ)	Электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Электропривод общепромышленных механизмов и технологических комплексов

Тема ВКР:

Разработка и исследование электропривода запорной арматуры нефтепровода	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<i>Работа посвящена вопросам разработки и исследования электропривода запорной арматуры в нефтегазовой промышленности.</i>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> - Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018); - ГОСТ 12.2.032-78 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования»; – СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному освещению жилых и общественных зданий; – ГОСТ 12.2.061-81 «Общие требования безопасности к рабочим местам»; – ГОСТ 12.4.011 – 89 ССБТ. Средства защиты работающих.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	<i>Выявленные вредные факторы:</i> <ul style="list-style-type: none"> - шум; - недостаток естественного света; - воздействие электромагнитного излучения <i>Выявленные опасные факторы:</i> <ul style="list-style-type: none"> - поражение электрическим током

3. Экологическая безопасность:	<ul style="list-style-type: none"> - вредные выбросы в атмосферу, - вредные выбросы в литосферу, - вредные выбросы в гидросферу
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Наиболее вероятные ЧС в здании в момент проведения исследования – пожар и поражение электрическим током;

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	20.02.2020г.
--	--------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Фех Алина Ильдаровна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM87	Фазлыяхметов Дамир Ривгатович		.

Оглавление

Аннотация.....	14
Введение	15
1 Технологический процесс	17
1.1 Обоснование выбора принципа регулирования	18
1.2 Выбор регулирующей запорной арматуры.....	19
1.3 Функциональная схема системы автоматического регулирования давления	20
1.4 Описание запорной арматуры Vanessa 30,000	24
2 Проектно – расчетная часть	26
2.1 Выбор электродвигателя.....	26
2.2 Расчет параметров схемы замещения	30
2.3 Расчет статических характеристик асинхронного двигателя	35
2.4 Структурная схема асинхронного двигателя.....	38
2.5 Расчет и моделирование переходных процессов пуска асинхронного двигателя прямым включением в сеть и при изменении нагрузки	40
3 Выбор и обоснование системы управления электроприводом.....	43
Регулируемый ЭП	44
3.1 Выбор преобразователя частоты	45
3.2 Принцип действия преобразователя частоты	47
4 Математическое описание обобщенной асинхронной машины	49
5 Разработка системы управления.....	53
5.1 Система уравнений для составления структурной схемы	53
5.2 Оптимизация системы автоматического управления	59
регулируемого электропривода	59
5.3 Оптимизация САР потокосцепления	60
5.4 Оптимизация САР скорости	66
6 Исследование нелинейной САУ РЭП	68

6.1 Анализ влияния основных нелинейностей САУ РЭП на качество регулирования	68
6.2 Разработка функциональной схемы регулируемого электропривода	69
6.3 Разработка контура положения	76
6.3.1 Оптимизация контура положения	76
6.3.2 Определение параметров задатчика интенсивности контура положения	82
6.3.3 Контур положения с задатчиком интенсивности	84
7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	90
7.1 Потенциальные потребители результатов исследования	90
7.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	93
7.3 FAST-анализ	95
7.4 Диаграмма Исикава	100
7.5 SWOT-анализ	101
7.6 Оценка готовности проекта к коммерциализации	104
7.7 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования	105
7.8 Инициация проекта	106
7.9 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	109
7.9.1 Иерархическая структура работ проекта	109
7.9.2 Структура работ в рамках научного исследования	110
7.9.3 Определение трудоёмкости выполнения работ	111
7.9.4 Разработка графика проведения научного исследования	112
7.9.5 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	116
7.10 Материальные расходы	116
7.10.1 Амортизация	117

7.10.2 Основная заработная плата	118
7.10.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы	119
7.10.4 Отчисления во внебюджетные фонды.....	120
7.10.5 Накладные расходы	121
7.10.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	121
7.11 Определение ресурсоэффективности проекта.....	122
8 Социальная ответственность	127
8.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	127
8.2 Производственная безопасность	131
8.3 Описание технологического процесса и рабочего места.....	132
8.4 Анализ опасных производственных факторов и образование мероприятий по их устранению.....	133
8.4.1 Шум и вибрации	134
8.4.2 Микроклимат	137
8.4.3 Освещение.....	139
8.5 Экологическая безопасность	141
8.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	142
Вывод по разделу «социальная ответственность»	145
Заключение	147
Список литературы	149
Приложение А	151

Аннотация

Представленная магистерская диссертация содержит 167 страниц, 47 таблиц, 66 рисунков.

Диссертация посвящена вопросам разработки и исследования электропривода запорной арматуры нефтепровода.

Ключевые слова: запорная арматура, асинхронный частотно-регулируемый электропривод, векторное управление, анализ и синтез системы управления, показатели качества регулирования.

В данной диссертации произведен подбор асинхронного двигателя, преобразователя частоты, так же способ управления двигателем. Проведены имитационные исследования разработанного электропривода в основных технологических режимах.

Работа выполнена с использованием пакета программ: MathCAD, MatLab R2017b, MS Office, Visio.

Введение

«В современном мире электропривод представляет собой единое целое, состоящее из электромеханического преобразователя энергии (двигателя), силового преобразователя, так же устройства управления. Электропривод преобразует электрическую энергию в механическую, в соответствии с алгоритмом работы технологической установки. Область применения электрического привода увеличивается в промышленности, транспорте и в быту. В настоящий момент из всей вырабатываемой в мире электроэнергии, более 60% потребляется электроприводами. Отсюда можно сделать вывод, что эффективность энергосберегающих технологий зависит от степени развития электропривода. Приоритетным направлением развития современной техники, является разработка и исследование высокопроизводительных электрических приводов». [4]

«В последние десятилетия, происходят большие успехи в развитии силовой электроники. Освоено промышленное производство биполярных транзисторов с изолированным затвором (IGBT), на их основе были получены силовые инверторы, силовые интеллектуальные модули (IPM) со встроенными средствами защиты ключей и интерфейсами, для непосредственного подключения к микропроцессорным системам управления.

Переход от микропроцессоров к микроконтроллерам с интегрированным комплектом специализированных периферийных устройств и увеличение уровня развития микропроцессорной техники, привел к массовой смене аналоговых систем управления электроприводами, на системы прямого цифрового управления.» [5]

В качестве прямого цифрового управления подразумевается не только непосредственное управление каждым ключом силового преобразователя от микроконтроллера (управляемого выпрямителя или инвертора), но так же предоставляется возможность непосредственного ввода сигналов разных

обратных связей в микроконтроллер (вне зависимо от вида сигнала: импульсивный, аналоговый или дискретный) с дальнейшей программно-аппаратным обработыванием внутри микроконтроллера. В результате чего, система прямого цифрового управления отказывается от большого числа дополнительных интерфейсных плат. Что привело к созданию одноплатных контроллеров управления приводами. В результате чего, встроенная система управления производится как однокристалльная, далее вместе с исполнительным двигателем и силовым преобразователем, конструктивно интегрируется в единый мехатронный модуль движения.

Основное развитие:

Ознакомившись, с продукцией основных производителей электроприводов и с материалами научных исследований в данной отрасли, важными ступенями развития электропривода являются:

- Непреклонно понижается процентное соотношение систем электропривода с двигателями постоянного тока, но постепенно увеличивается количество приводов с двигателями переменного тока. Это сопряжено с невысокой прочностью механического коллектора и наиболее значительной стоимостью коллекторных двигателей постоянного тока, если сравнить их с двигателями переменного тока. Согласно с мнением специалистов, в начале следующего века часть приводов постоянного тока уменьшится до 10% от общего количества приводов.
- В наше время предпочтением используются привода с короткозамкнутыми асинхронными двигателями. Основное количество данных приводов (80%) являются нерегулируемыми. Из-за стремительного удешевления преобразователей частоты, количество частотно-регулируемых асинхронных электроприводов быстро увеличивается.

1 Технологический процесс

Нефтеперекачивающие станции (НПС) располагаются на нефтепроводах с интервалом 70 – 150 км. Перекачивающие (насосные) станции нефтепроводов и нефтепродуктопроводов оборудуются центробежными насосами с электроприводом. Подача применяемых в настоящее время магистральных насосов достигает 12500 м³/ч. В начале нефтепровода находится головная нефтеперекачивающая станция (ГНПС), которая располагается вблизи нефтяного промысла или в конце подводящих трубопроводов, если магистральный нефтепровод обслуживают несколько промыслов или один промысел, разбросанный на большой территории, ГНПС отличается от промежуточных, наличием резервуарного парка объемом, равным двух-, трехсуточной пропускной способности нефтепровода. На выходе НПС, как правило, устанавливается система автоматического регулирования давления, основное назначение которой состоит в поддержании заданного давления.

Если длина нефтепровода превышает 800 км, его разбивают на эксплуатационные участки длиной 100 – 300 км, в пределах которых возможна независимая работа насосного оборудования. Промежуточные насосные станции на границах участков должны располагать резервуарным парком объемом, равным 0.3 – 1.5 суточной пропускной способности трубопровода. Как головная, так и промежуточные насосные станции с резервуарными парками оборудуются подпорными насосами.

Кроме основных объектов, на каждой насосной станции имеется комплекс вспомогательных сооружений: трансформаторная подстанция, снижающая подаваемое по линии электропередач (ЛЭП) напряжения от 110 или 35 до 6 кВ, котельная, а также системы водоснабжения, канализации, охлаждения и т.д.

Конечной точкой нефтепровода является сырьевой парк нефтеперерабатывающего завода или перевалочная нефтебаза. [1]

1.1 Обоснование выбора принципа регулирования

Для обоснованного выбора способа регулирования давления, проанализируем возможные варианты систем [1, 2].

Системы с изменяемой частотой вращения вала насоса. Наиболее полно отвечают требованиям к качеству регулирования системы с изменяемой частотой вращения вала насоса. Эти системы используют частотное регулирование скорости электродвигателя насоса или различного рода гидротрансформаторы (муфты), включаемые между валами двигателя и насоса. Наряду с очевидными преимуществами (насос развивает именно то давление, которое необходимо), эти системы обладают серьезными недостатками - низким КПД и высокой стоимостью.

Регулирование перепуском. В этом случае снижение развиваемого насосами давления осуществляется за счет создания дополнительного расхода (перепуска) с выхода на прием насосной станции (насоса). Регулирование перепуска осуществляется регулирующими клапаном, установленным на дополнительной линии небольшого сечения. Преимущество этого принципа состоит в том, что давление, развиваемое насосной станцией, равно заданному. Вместе с тем, из-за увеличения расхода и совершаемой насосами работы существенно возрастает количество потребляемой электродвигателями насосов электроэнергии. Кроме того, регулирующие клапаны должны работать на больших перепадах давления. Также, высоки требования к герметичности клапана в закрытом состоянии.

Регулирование дросселированием. При помощи регулирующих клапанов уменьшается давление на выходе насосной станции. Данные клапана создают дополнительное сопротивление потоку жидкости. Для этого на выходе насосной станции создается избыточное давление, относительно максимально допустимого давления в трубопроводе. Данный метод регулирования давления получил широкое распространение в трубопроводном транспорте нефтяной промышленности.

Проанализировав данные методы регулирования, наиболее лучшим способом является регулирование давления дросселированием. Технологически и экономически эффективным является управление положением запорной арматуры на выходе нефтеперекачивающей станции.

1.2 Выбор регулирующей запорной арматуры

Основными требованиями, предъявляемыми к дросселирующей запорной арматуре, являются:

- высокая пропускная способность в открытом состоянии;
- плавная регулировочная характеристика;
- широкий диапазон регулирования;
- небольшое время хода;
- допустимый перепад давления, равный, половине дифференциального давления одного насоса;
- высокий уровень герметичности в закрытом состоянии;
- малый крутящий момент;
- низкий уровень шума;
- высокая износостойкость;
- небольшие эксплуатационные расходы.

В АК «Транснефть» значение перепада давления при полностью открытой арматуре, когда расход является максимальным, задано жестко – не более 0,25 кгс/см². Для объема расхода 1000 м³ в час значение K_V ¹ арматуры должно быть превышать 2000 м³ в час при работе с одним регулятором или 1000 м³ в час при работе двумя регуляторами параллельно [1]. Этим условиям удовлетворяют поворотная запорная арматура Vanessa серии 30000, полностью соответствует данным условиям. В таблице №1 приведены габаритные размеры данной арматуры [1].

¹ K_V – текучесть воды при 15°C в м³/ч и перепаде давления в 1 бар при неизменных условиях внутри заслонки

1.3 Функциональная схема системы автоматического регулирования давления

Система автоматического регулирования (САР) давления НПС (нефтеперекачивающей станции) предназначена для поддержания давления на входе магистральной насосной станции (МНС) не менее уставочного значения, обеспечивающего кавитационный запас, и давления на выходе МНС не более уставочного значения, обеспечивающего сохранность трубопровода и/или требования режима перекачки нефтепродуктов, а также для снижения нагрузки на электродвигатели магистральных насосных агрегатов при пусках. Регулирование осуществляется с помощью поворотных заслонок, установленных на выходе МНС. Управление заслонками осуществляется поворотным механизмом посредством асинхронного электродвигателя с помощью частотного преобразователя.

Функциональная схема системы автоматического давления представлена на рисунке 3 [1].

Регулирование осуществляется по следующим контурам:

- по давлению на входе МНС, таким образом, чтобы не допустить снижения давления ниже уставки и обеспечить при этом максимально возможный расход по трубопроводу;
- по давлению на выходе МНС, таким образом, чтобы не допустить повышения давления выше уставки и обеспечить при этом максимально возможный расход по трубопроводу;
- по перепаду давления на регулирующем клапане, таким образом, чтобы поддержать перепад давления на клапане равным уставке, независимо от расхода по трубопроводу;
- по положению регулирующего клапана, таким образом, чтобы установить клапан в положение равное уставке, независимо от расхода по трубопроводу.

Выбор контуров регулирования и дополнительных функций осуществляется в соответствии с назначенным для регулирующего клапана режимом управления.

Регулирование давления на приеме и на выходе перекачивающих насосных магистральных нефтепроводов $D_y = 800$ мм.

Система использует регулирующие запорной арматуры с электрическим приводом для регулирования давления на приеме и на выходе нефтепроводов методом дросселирования потока на выходе.

Регулируемая среда – нефть, следующей характеристики:

- Рабочая температура: от -5°C до 60°C ;
- Вязкость при рабочей температуре: от $0.05 \cdot 10^{-4}$ до $1 \cdot 10^{-4}$ м²/с;
- Плотность: от 0.7 до 0.9 т/м³;
- Содержание серы (связанной): до 9.5% по массе;
- Содержание парафина: до 7% по массе;
- Содержание механических примесей: до 0.06% по массе.

Окружающая среда

Заслонки с электроприводом и шкафы с датчиками пригодны для установки на открытом воздухе в климатических районах, имеющих абсолютный минимум температуры: -50°C и абсолютный максимум температуры: 50°C .

В окружающем воздухе могут находиться пары нефти категории ПА группы ТЗ, поэтому электроприводы, датчики и любое другое электрическое или электронное оборудование поставляется во взрывоопасном исполнении, пригодном для установки в зоне класса I, раздел I, группа ПВТЗ в соответствии с Европейскими нормами EN 50014 и 50018.

Электронные датчики будут помещены в специальные отапливаемые шкафы.

Температура окружающей среды: от 18°C до 28°C .

Влажность: от 40% до 70%.

Допускается понижение температуры окружающей среды до 5°C , которая не повлияет на четкость функционирования электронных приборов.

Кинематическая схема механизма

Электрический привод для нефтепровода $D_y = 800$ мм состоит из многооборотного электропривода, смонтированного на червячном редукторе в

четверть оборота. Понижение крутящего момента многооборотного электропривода осуществляется в 2 степени:

I – через пару цилиндрических шестерен;

II – через червяк с червячным колесом.

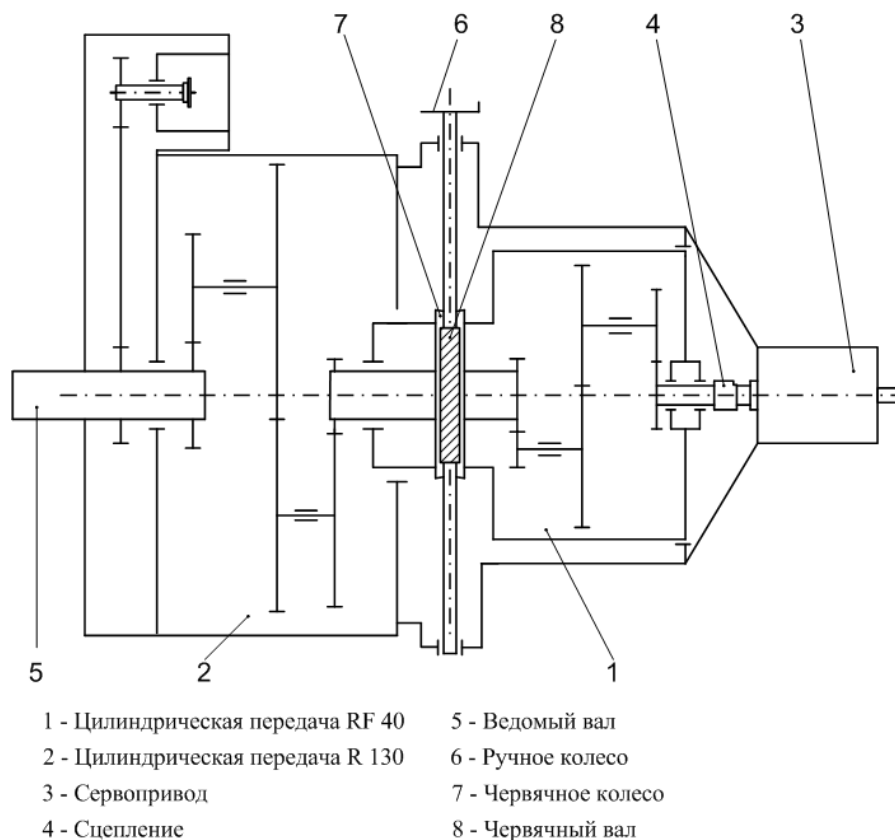


Рисунок 1 – Кинематическая схема редуктора

Понижение крутящего момента червячного редуктора в $\frac{1}{4}$ оборота осуществляется в одну ступень: через соединение червяка с червячным колесом. В последней ступени редукционной передачи укреплен втулка, которая находится в зацеплении с валом заслонки. Все компоненты редукционной передачи прошли аккуратную обработку и термическую закалку для обеспечения сложного цикла регулировки. При повреждении мотора или отсутствии энергосбережения электропривод может быть запущен вручную при повороте рычага и последующем вращении маховика.

В нормальных условиях работы электропривода рычаг находится в нейтральном положении, а маховик неподвижен.

При восстановлении энергосбережения на электропривод, рычаг самопроизвольно возвращается в свое нейтральное положение, при одновременном отключении маховика, без всякой опасности для оператора.

Структурная схема механической системы представлена на рисунке 2.

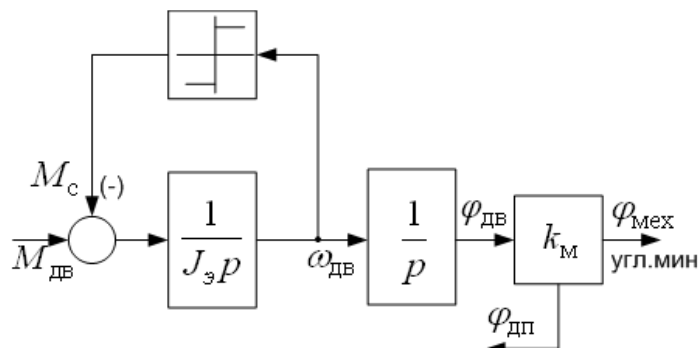


Рисунок 2 - Структурная схема механической системы

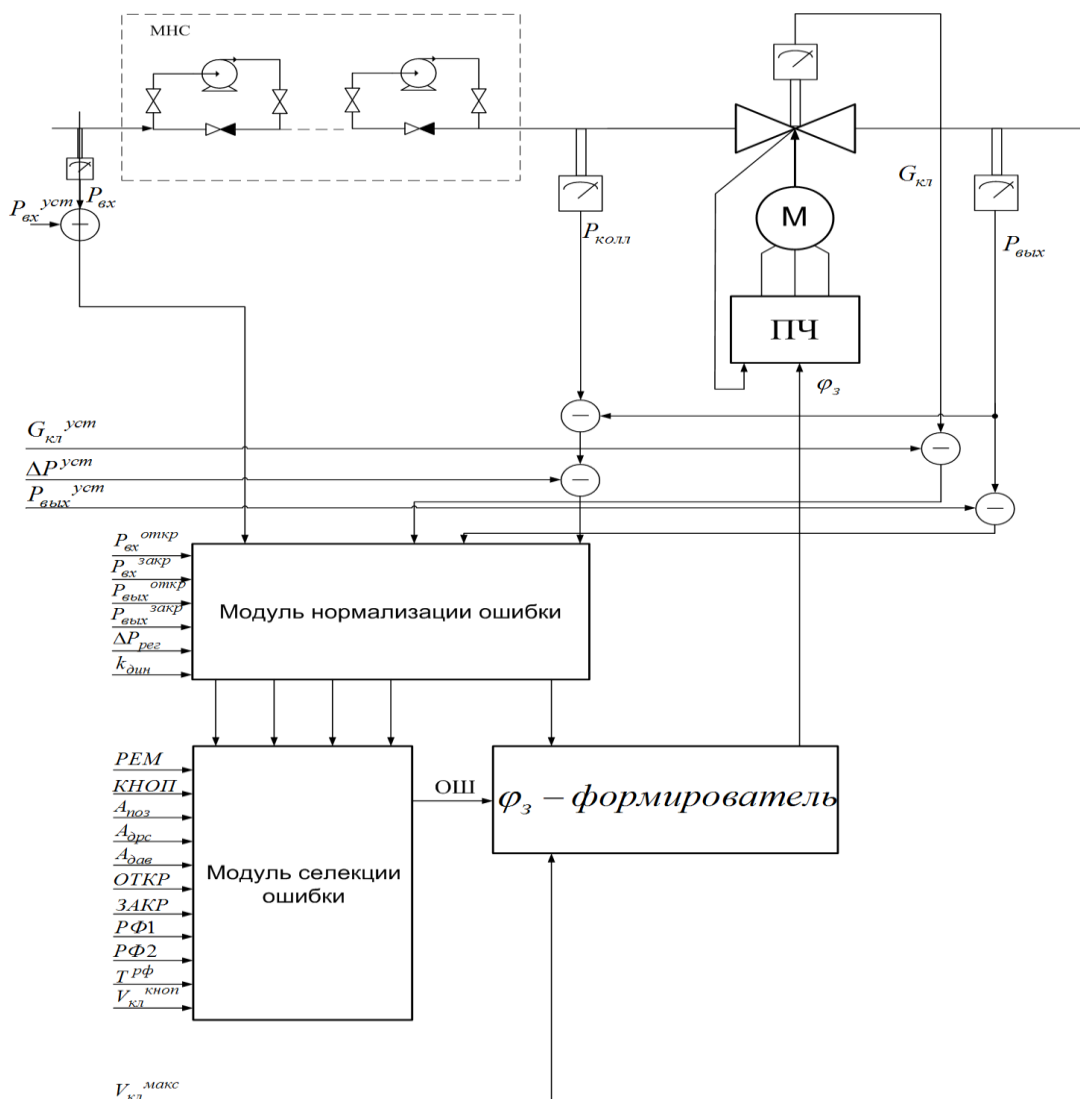


Рисунок 3 – Функциональная схема автоматического процесса поддержания давления в нефтепроводе

1.4 Описание запорной арматуры Vanessa 30,000

Выдающееся действие тройного смещения, металлически установленный клапан Vanessa 30,000 (рисунок 4) делают идеальным современным решением по достижению превосходного перекрытия в любом процессе.

Заслонка представляется следующими характеристиками [2]:

- Моментное упругое уплотнение обеспечивает нулевую утечку жидкости;
- Специальное седло клапана обеспечивает постоянное би-направленное действие с нулевой утечкой;
- Дизайн с отсутствием трения при 90° повороте достигается уникальной геометрией тройного смещения, полностью исключающей трение во всех опорных поверхностях;
- Благодаря примененному Stellite® стандарту по упрочнению седла клапана расширился круг использования Vanessa, ее срок эксплуатации и обслуживание;
- Монолитный корпус с обращенными друг к другу поверхностями в соответствии с ISO 5752, ASME B16.10 и API 609 обеспечивает взаимозаменяемость дроссельной заслонки, втулки и других клапанов для упрощенной и более гибкой установки;
- Металлическая конструкция и уплотнения обеспечивают нулевую утечку, за счет чего запорная арматура Vanessa является взрывозащищённым устройством;
- Длинномерные закаленные подшипники, имеют стандартное внутреннее усилие, графитовый протектор подшипников дает дополнительную надежность;
- Закаленный тройным дутьем шток, стал безопасен в эксплуатации, он обеспечивает совместимость с API 609;
- Индикаторы положения, которые располагаются на штоке и фланце реализовывают индикацию положения диска.

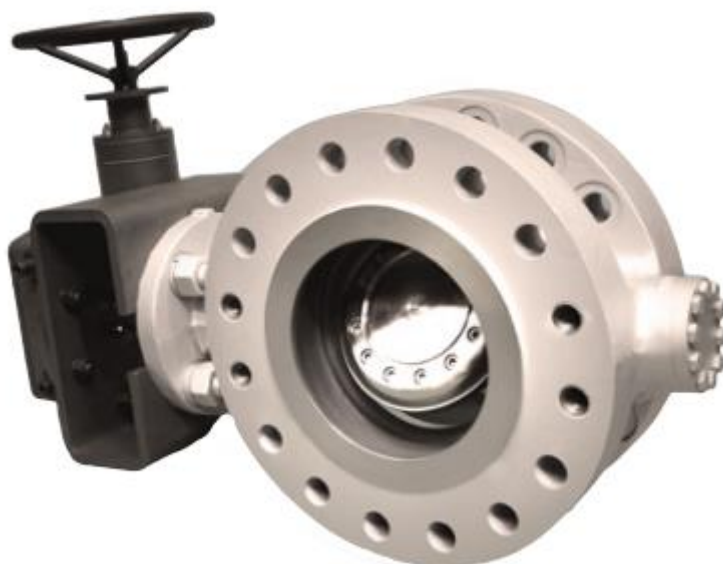


Рисунок 4 – Запорная арматура Vanessa 30,000

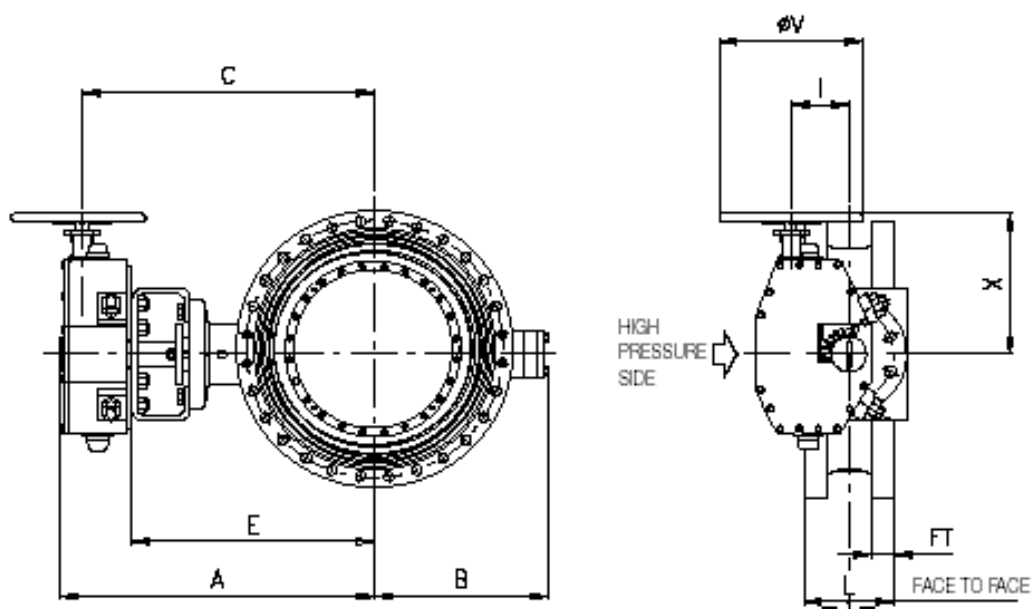


Рисунок 5 – Габариты запорной арматуры Vanessa 30,000

Таблица 1 – Габариты запорной арматуры

Диаметр, мм	Измерения заслонки, мм										Масса, кг	
	A	B	E	L	FT	Тип	C	I	X	V	Заслонки	Ито г.
800	1143	640	888	318	81	Мага 1000C- 90	1069	200	500	450	1165	132 0

2 Проектно – расчетная часть

2.1 Выбор электродвигателя

В приводах с частотно-регулируемой системой управления в основном используются нерегулируемые двигатели общепромышленного применения. Данные двигатели запитаны от промышленной сети и работают с постоянной скоростью вращения ротора. Но использование в частотно-регулируемом электроприводе обыкновенных серийных асинхронных электродвигателей (АД) приводит к снижению КПД, что приводит к повышению их установленной мощности при работе в установившемся режиме на 15–20% и при работе в динамических режимах до 40 – 45%. В двигателе возрастают потери на 56% из-за того, что на выходе преобразователя частоты появляются высшие гармоники напряжения и тока. Производители и разработчики электроприводов и электрических машин все чаще для частотно-регулируемого электропривода используют специализированные двигатели. [4]

Сформулируем основные различия частотно-регулируемых АД от обычных характеризуется.

1. Форма пазов ротора. Из-за очень мягкого частотного пуска на роторе не используются глубокие пазы. При разработке и проектировании данных двигателей не обязательно обеспечивать кратность пускового и максимального моментов, потому что они получаются автоматически в замкнутой системе регулирования. При помощи управления частотой и напряжением, возможно регулировать скорость вращения и скольжение, в следствии чего уменьшить потери в роторе. Векторное управление дает возможность поддерживать величину реактивной составляющей тока статора, при которой коэффициент мощности и КПД максимальны.

Соотношение активных материалов перераспределяется в сторону увеличения проводниковых. Серийные асинхронные двигатели имеют глубокие пазы избыточной площади на 15-20% при работе в установившемся режиме. Этот резерв в частотно-регулируемом приводе можно использовать для уменьшения активного сопротивления ротора, т.е. и рабочего скольжения и

индуктивного сопротивления рассеяния, т.е. для увеличения полезного момента. Более широкие пазы имеют на 15-25% меньшую индуктивность рассеяния.

2. Число пар полюсов. От частоты питающей сети двигателя, количеством пар полюсов и передаточным числом редуктора привода зависит скорость вращения производственного механизма. Необходимую скорость вращения двигателя можно получить при помощи изменения этих величин.

Для получения необходимых значений величин необходимо так же учесть:

- диапазон регулирования частоты;
- необходимость использования редуктора, его стоимость;
- стоимость асинхронного двигателя;
- потребленной энергии за время эксплуатации привода.

3. Номинальное напряжение двигателя. Если в частотно-регулируемом электроприводе применяется серийный двигатель, без необходимых мер ему не хватает напряжения на выходе преобразователя частоты (ПЧ). Для упрощения системы двигатель может быть рассчитан на нестандартное значение напряжения основной гармоники на выходе ПЧ для комплектного частотного электропривода.

4. Синусоидальность напряжения и тока двигателя. Чем больше преобразователь частоты обеспечивает синусоидальность напряжения и тока в двигателе, тем он лучше. Данное требование характерно серийным двигателям, в конструкциях которых используется распределение обмотки в пазах, укорочение ее шага или скос пазов, обеспечивает синусоидальность электромагнитных полей в воздушном зазоре.

5. Охлаждение. Из-за небольшого КПД вентиляторов охлаждения двигателя при работе на низких оборотах двигателя, необходимо применять дополнительное оборудование, на пример куллеры. Использование дополнительного оборудования требуется для охлаждения активных частей двигателя и его подшипников.

6. Перенапряжения. ШИМ – коммутация ПЧ приводит к образованию волновых переходных процессов и импульсные перенапряжения в системе ПЧ-

двигатель. Для уменьшения перенапряжений используют фильтры, усиливают изоляцию первых витков обмотки, необходимо подобрать длину и конструкцию кабеля между двигателем и ПЧ, а так же, заземления.

7. Подшипники. Для двигателей, работающих в зоне высоких скоростей вращения ротора, должны соответствовать данным условиям подшипники, смазка, балансировка ротора и уплотнительные манжеты.

8. Шумы и вибрации. При регулировании скорости вращения вибро-акустические показатели, естественно, изменяются, причем в диапазонах низких скоростей превалирует структурная, а высоких – аэродинамическая. Значения скоростей и величины диапазонов зависят от числа полюсов двигателя.

Учитывая все вышеприведенные особенности, следует выбирать двигатель специального исполнения, рассчитанного для использования в сочетании с ПЧ.

Остановим свой выбор на сервомоторах фирмы КЕВ, обладающих следующими возможностями:

- Высокая перегрузочная способность. Изоляция двигателей должна соответствовать классу теплостойкости Н, предельная температура нагрева равна 180°C. Двигатели оснащены принудительным охлаждением с системой вентилирующих каналов, которое отводит тепло независимо от скорости вращения вала двигателя. Данные особенностей конструкции помогает двигателям обеспечивать перегрузку по моменту равную,
$$\frac{M_{\max}}{M_{\text{nom}}} = 2.5 - 2.8.[6]$$
- Обеспечение равномерной частоты вращения вала двигателя на низких оборотах. Главный параметр, который влияет на данную характеристику, это равномерность магнитного зазора, который расположен между статором и ротором двигателя.
- Высокие динамические характеристики двигателя. Обеспечить низкую электро-механическую постоянную времени возможно, за счет уменьшения индуктивности статора и момента инерции вала двигателя.

- Компактность и сниженная масса. Благодаря тому, что в двигателях использованы современные материалы магнитопровода и корпуса, удалось на 20 % снизить массу двигателя относительно российских аналогов и разработать более компактную конструкцию, объединяющую в одном корпусе двигатель, датчик обратной связи и узел независимой вентиляции.

В соответствие с техническим заданием и оптимальным сочетанием с ПЧ выбираем двигатель ST90 MB, данные которого приведены в таблице 1.

Расчет параметров схемы замещения асинхронного двигателя.

Электрический мотор, спроектированный на непрерывный режим регулировки, имеет следующие характеристики:

- Изоляционный материал обмотки по классу H, способный выдерживать повышение рабочей температуры до 180°C
- Особый ротор низкой инерции и низкого значения омического сопротивления для повышения производительности и устойчивости к изменениям частоты.

Эта особенность мотора, в комбинации с электронной системой энергосбережения, основанной на контроле напряжения и частоты, позволяет сократить потерю энергетического КПД меди и железа, уменьшить перегрев мотора и обеспечить нормальный режим регулировки давления в нефтепроводе.

Выбираем электродвигатель серии ST90MB. Паспортные технические характеристики представлены ниже в таблице №2. [3]

Таблица №2 – Паспортные данные двигателя ST90MB

Заданные величины	Условное обозначение	Единица измерения	Численное значение
Фазное напряжение	U_{ϕ}	В	190
Линейное напряжение	$U_{\text{л}}$	В	330
Мощность двигателя	$P_{\text{дв.}}$	Вт	1500
КПД	$\eta_{\text{н}}$	%	82,7

Синхронная частота вращения	n_c	об/мин	2100
Коэффициент мощности	$\cos \varphi_n$	о.е.	0,88
Номинальное скольжение	S_n	%	4,8
Кратность пускового тока	k_i	о.е.	6,9
Кратность пускового момента	k_n	о.е.	1.8
Кратность максимального момента	k_{\max}	о.е.	4,12
Кратность минимального момента	k_{\min}	о.е.	1,46
Коэффициент загрузки двигателя	$P_{жс}$	о.е.	0,75
Число пар полюсов	p	-	2
Частота питающей сети	f	Гц	70
Число фаз двигателя	m	-	3
Момент инерции	J	кг·м ²	0,0038

Номинальное фазное напряжение: $U_{\text{фн}} = 190 \text{ В}$

Номинальное напряжение сети: $U_{\text{фн}} = 330 \text{ В}$

Коэффициент загрузки двигателя: $p_{ж} = 0,75 \text{ о.е.}$

Число пар полюсов: $p = 2$

2.2 Расчет параметров схемы замещения

Математическая модель АД предоставляется разными схемами замещения. Самая удобная и простая для расчетов асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором является Т-образная схема замещения, представленная на рисунке 6. [4, 5]

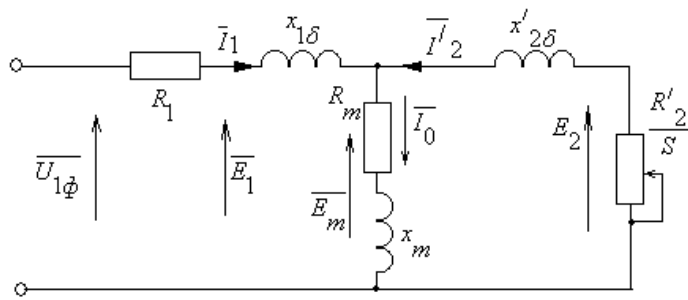


Рисунок 6 - Т-образная схема замещения асинхронного двигателя

где $U_{1\phi}$ – фазное напряжение, подводимое к обмотке статора двигателя;

R_1 – активное сопротивление обмотки статора;

R_2' – приведенное активное сопротивление цепи обмотки ротора к цепи обмотке статора;

I_1 – ток обмотки статора;

I_2' – приведенный к обмотке статора ток обмотки ротора;

I_0 – ток холостого хода (намагничивания);

$X_{2\sigma}'$ – приведенное индуктивное сопротивление рассеяния цепи обмотки ротора к цепи обмотке статора;

X_m - индуктивное сопротивление контура намагничивания;

$X_{1\sigma}$ – индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора;

Основные уравнения асинхронного двигателя, соответствующие данной схеме:

$$\bar{E}_m + j \cdot X_2' \cdot \bar{I}_2' + R_2' \cdot \bar{I}_2' / s = 0$$

$$\bar{U}_{1\phi} - \bar{E}_m - j \cdot X_1 \cdot \bar{I}_1 - R_1 \cdot \bar{I}_1 = 0$$

$$\bar{I}_1 + \bar{I}_2' - \bar{I}_0 = 0$$

На рисунке 7 представлена векторная диаграмма ЭДС, напряжений и токов.

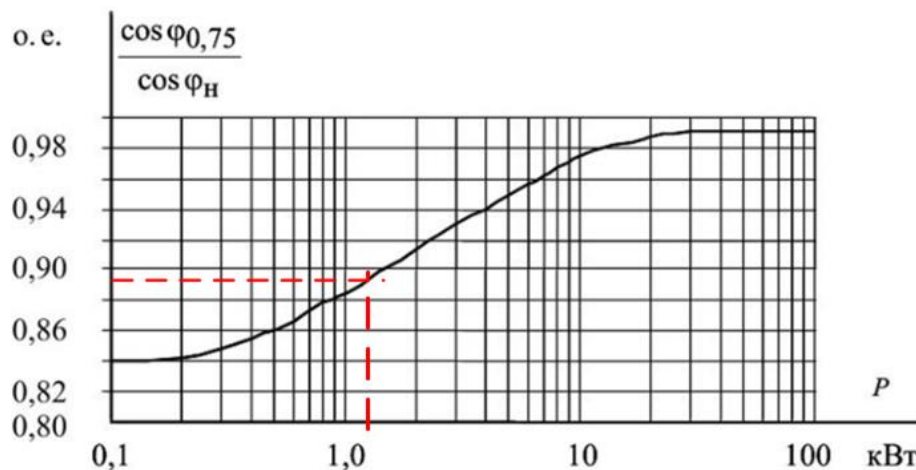


Рисунок 8 - Зависимость $\cos \phi_{0,75} / \cos \phi_H$ от мощности асинхронного двигателя

Номинальный ток статора двигателя:

$$I_{\text{IH}} = \frac{P_H}{3 \cdot U_{\text{IH}} \cdot \cos \varphi \cdot \eta_H} = \frac{1500}{3 \cdot 190 \cdot 0,88 \cdot 0,827} = 3,616 \text{ A.}$$

В итоге, ток холостого хода двигателя равен:

$$I_0 = \sqrt{\frac{3,013^2 - \left(0,75 \cdot 3,616 \cdot \frac{1 - 0,048}{1 - 0,75 \cdot 0,048}\right)^2}{1 - \left(0,75 \cdot \frac{1 - 0,048}{1 - 0,75 \cdot 0,048}\right)^2}} = 2,05 \text{ A.}$$

Определим критического скольжения применив формулу Клосса.

Принимаем $\beta = 1$:

$$s_K = s_H \cdot \frac{k_{\max} + \sqrt{k_{\max}^2 - [1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1)]}}{1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1)};$$

$$s_K = 0,048 \cdot \frac{4,4 + \sqrt{4,4^2 - [1 - 2 \cdot 0,048 \cdot 1 \cdot (4,4 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 0,048 \cdot 1 \cdot (4,4 - 1)} = 0,62 \text{ о.е.}$$

Найдем значения коэффициентов:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{\text{IH}}} = 1 + \frac{2,05}{2 \cdot 6,9 \cdot 3,616} = 1,041;$$

$$A_1 = m \cdot U_{\text{IH}}^2 \cdot \frac{1 - s_H}{2 \cdot C_1 \cdot k_{\max} \cdot P_H} = 3 \cdot 190^2 \cdot \frac{1 - 0,048}{2 \cdot 1,041 \cdot 4,4 \cdot 1500} = 7,5.$$

Далее определяем активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора АД:

$$R_2' = \frac{A_1}{(\beta + \frac{1}{s_K}) \cdot C_1} = \frac{8,01}{(1 + \frac{1}{0,62}) \cdot 1,041} = 2,762 \text{ Ом.}$$

Активное сопротивление обмотки статора:

$$R_1 = C_1 \cdot R_2' \cdot \beta = 1,041 \cdot 2,762 \cdot 1 = 2,876 \text{ Ом.}$$

При помощи параметра γ можно вычислить индуктивное сопротивление короткого замыкания X_{KH} , его определим при помощи следующего уравнения:

$$\gamma = \sqrt{(\frac{1}{s_K^2}) - \beta^2} = \sqrt{(\frac{1}{0,62^2}) - 1} = 1,26.$$

Значение индуктивного сопротивления короткого замыкания:

$$X_{KH} = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2' = 1,484 \cdot 1,041 \cdot 2,762 = 3,624 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление роторной обмотки, приведенное к статорной:

$$x_{2H}' = 0,58 \cdot \frac{X_{KH}}{C_1} = 0,58 \cdot \frac{3,624}{1,041} = 2,019 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление статорной обмотки:

$$x_{1H} = 0,42 \cdot X_{KH} = 0,42 \cdot 3,624 = 1,522 \text{ Ом.}$$

При помощи полученных значений находим C_1 , R_2' и X_{KH} определим критическое скольжение:

$$s_{K1} = \frac{C_1 \cdot R_2'}{\sqrt{R_1^2 + X_{KH}^2}} = \frac{1,041 \cdot 2,762}{\sqrt{2,876^2 + 3,624^2}} = 0,62 \text{ о.е.}$$

Рассчитанные значения $s_{K1} = s_K = 0,55$ равны.

Для того, что бы найти ЭДС (E_1) ветви намагничивания необходимо найти $\sin \varphi$:

$$\varphi = \arccos(\cos \varphi) = \arccos(0,88) = 0,495;$$

$$\sin \varphi = 0,475.$$

ЭДС ветви намагничивания, которая наводится потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме найдем по формуле:

$$E_1 = \sqrt{(U_{1H} \cdot \cos \varphi - R_1 \cdot I_{1H})^2 + (U_{1H} \cdot \sin \varphi - x_{1H} \cdot I_{1H})^2};$$

$$E_1 = \sqrt{(190 \cdot 0,88 - 2,876 \cdot 3,616)^2 + (190 \cdot 0,475 - 1,522 \cdot 3,616)^2} = 178,236 \text{ В.}$$

Тогда индуктивное сопротивление намагничивания:

$$x_{\mu H} = \frac{E_1}{I_0} = \frac{178,236}{2,055} = 86,713 \text{ Ом.}$$

2.3 Расчет статических характеристик асинхронного двигателя

При помощи параметров схемы замещения, произведем расчет характеристик. [6]

Синхронная угловая скорость равна:

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 70}{2} = 219,911 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

При помощи зависимости, представленной ниже, построим электромеханическую характеристику

$$I_1(\omega) = \sqrt{I_0^2 + I_2(\omega)^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2(\omega) \cdot \sin \left[\frac{X_{1H} + X'_{2H}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}} \right)^2 + (X_{1H} + X'_{2H})^2}} \right]}$$

где $I_2^1(\omega)$ - значение приведенного тока ротора от скольжения:

$$I_2' = \frac{U_{1H}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{\frac{\omega - \omega_0}{\omega_0}} \right)^2 + (x_{1H} + x'_{2H})^2}}$$

По данным формулам получим естественные электромеханические характеристики $I_2^1(\omega)$ (рисунок 9) и $I_1(\omega)$ (рисунок 10)

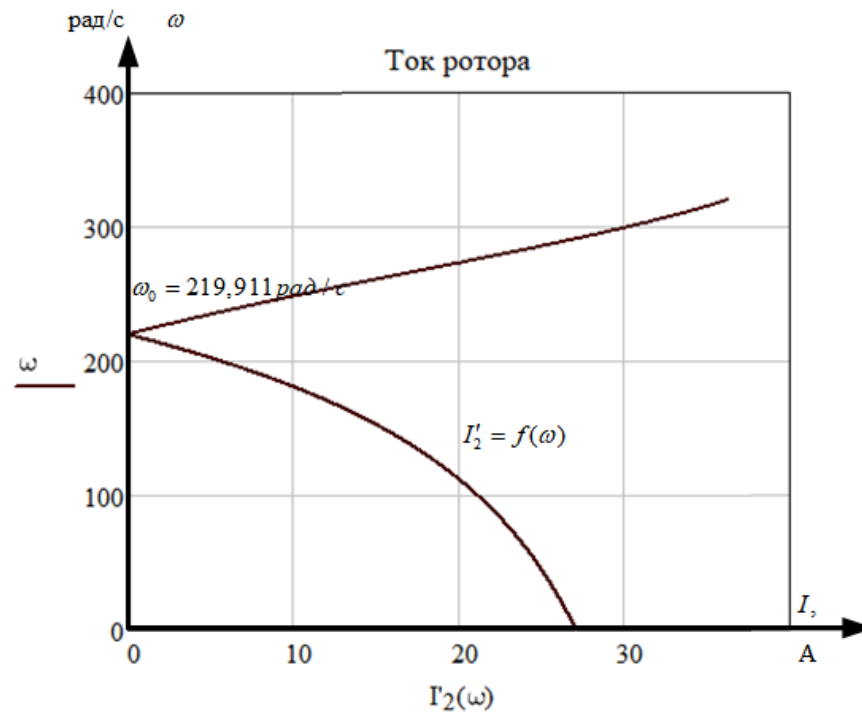


Рисунок 9 - Естественная электромеханическая характеристика для тока ротора

$$I_2^I(\omega)$$

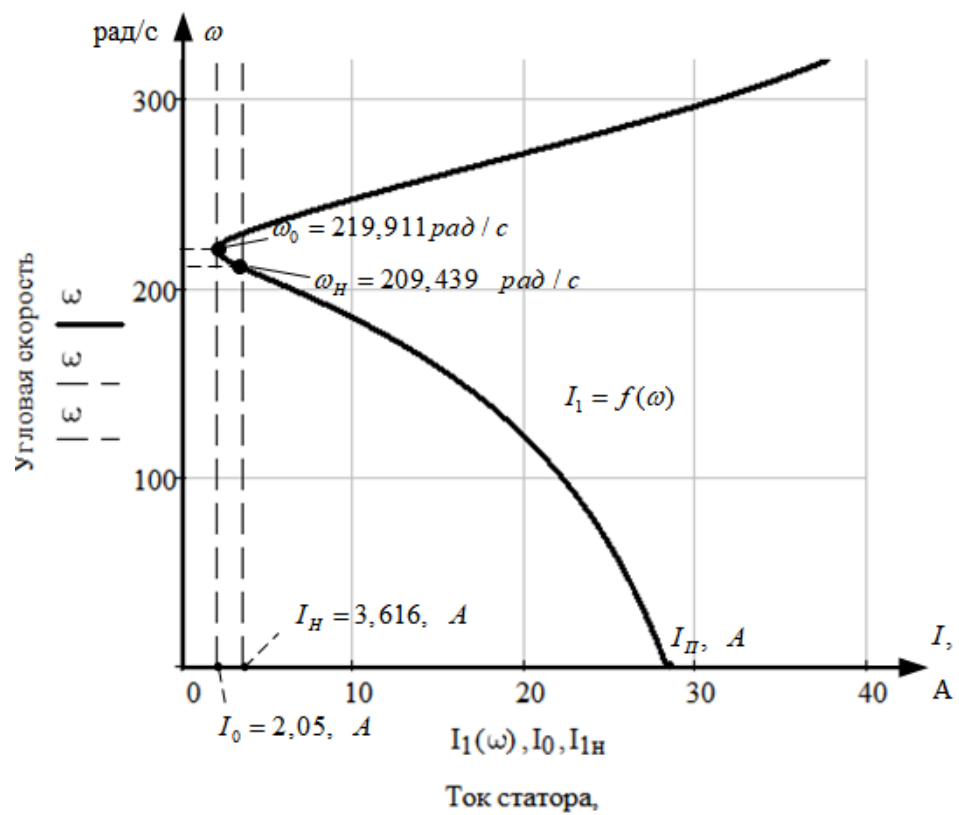


Рисунок 10 - Естественная электромеханическая характеристика для тока

$$\text{статора } I_1(\omega)$$

На рисунке 10 отмечены параметры электромеханической характеристики:

- пусковой ток двигателя, рассчитанный по паспортным данным, отмечен черной точкой:

$$I_{п.р} = k_i \cdot I_{1н} = 6,9 \cdot 3,616 = 24,95;$$

- пусковой ток двигателя, рассчитанный по схеме замещения: $I_{п} = 24,95 \text{ A};$

- скорость холостого хода двигателя: $\omega_0 = 219,911 \text{ рад/с};$

- ток холостого хода двигателя: $I_0 = 2,05 \text{ A};$

- номинальный ток статора двигателя: $I_{1н} = 3,616 \text{ A};$

Рассчитаем и построим естественную механическую характеристику $M(\omega)$ (рисунок 11) по следующей формуле:

$$M(\omega) := \frac{3 \cdot U_{1н}^2 \cdot R'_2}{\omega_0 \cdot \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} \cdot \left[\left(R_1 + \frac{R'_2}{\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}} \right)^2 + X_{кн}^2 \right]}$$

На рисунке 11 отмечены следующие параметры механической характеристики:

- номинальная скорость:

$$\omega_{НОМ} = \omega_0 \cdot (1 - s_H) = 219,911 \cdot (1 - 0,048) = 209,439 \text{ рад/с};$$

- номинальный момент:

$$M_{НОМ} = \frac{P_{НОМ}}{\omega_{НОМ}} = \frac{1500}{209,439} = 7,162 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

- критический момент двигательного режима:

$$M_K = \frac{3 \cdot U_{1н}^2}{2 \cdot \omega_0 (R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_{кн}^2})} = \frac{3 \cdot 190^2}{2 \cdot 219,911 \cdot (2,876^2 + \sqrt{2,876^2 + 3,624^2})} = 32,824 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

- критический момент, рассчитанный по паспортным данным (отмечен черной точкой):

$$M_{К.Р} = M_{НОМ} \cdot k_{max} = 7,162 \cdot 4,4 = 31,5 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

- $M_{п}$ пусковой момент, определенный по графику:

$$M_{\Pi} = 30 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

- $M_{\Pi, P}$ пусковой момент, рассчитанный по паспортным данным (отмечен черной точкой):

$$M_{\Pi, P} = M_{\text{НОМ}} \cdot k_{\Pi} = 7,162 \cdot 4,1 = 29,3 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

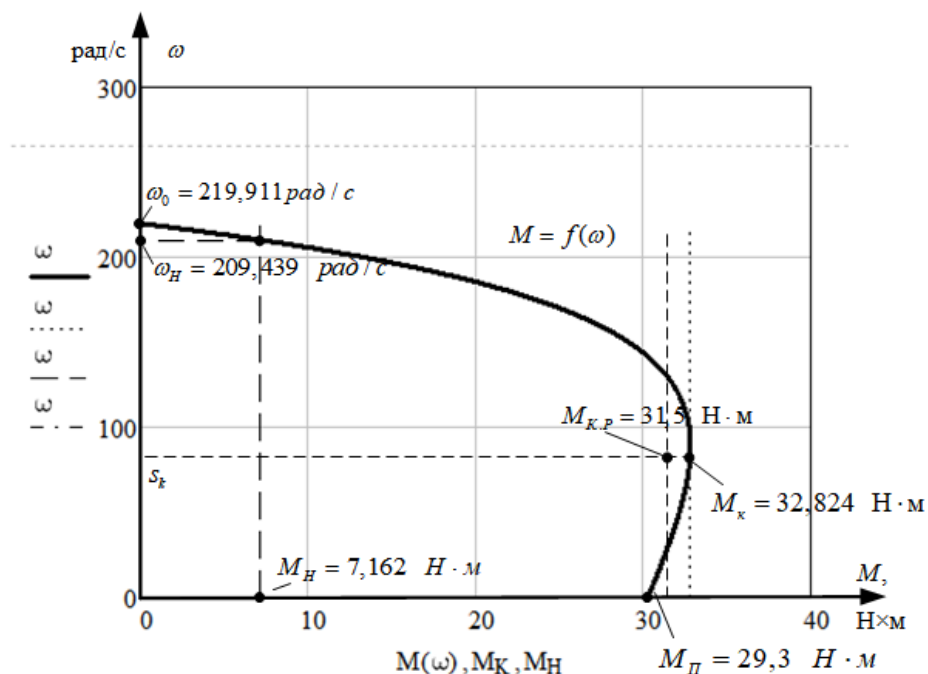


Рисунок 11 - Естественная механическая характеристика двигателя $M(\omega)$

Проанализировав значения контрольных точек, полученных аналитическим и графическим путем, можно сделать вывод, что критических различий не наблюдается. Рабочий участок характеристики формируется прогнозируемо относительно паспортных данных. Единственным значительно отличающимся результатом является пусковой момент, это объясняется тем, что когда значение скольжения приближено к единице, появляется поверхностный эффект вытеснения тока в обмотке стержнях ротора, который не был учтен в расчетах.

2.4 Структурная схема асинхронного двигателя

Структурная схема системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель при частотном регулировании скорости. Структурная схема представлена на рисунке 13. [5, 6]

Упрощенная формула Клосса:

$$M = \frac{2 \cdot M_{\text{кн}} \cdot U_{\text{1н}}}{\frac{s}{s_{\text{к}}} + \frac{s_{\text{к}}}{s}}, \quad (2.3.1)$$

где $M_{\text{кн}}$ - критический момент двигателя при номинальном напряжении обмоток статора.

В формулу (2.3.1) подставим значение скольжения $s = (\omega_0 - \omega) / \omega_0$, и получим после преобразований

$$M = \frac{2 \cdot M_{\text{кн}} \cdot \omega_0 \cdot s_{\text{к}} (\omega_0 - \omega) U_{\text{1н}}^2}{(\omega_0 - \omega)^2 + s_{\text{к}}^2 \cdot \omega_0^2}. \quad (2.3.2)$$

Далее разложим уравнение (2.3.2) в ряд Тейлора в окрестности точки $M = 0$ и $\omega = \omega_0$, пренебрегаем членами высшего порядка получаем:

$$\Delta M = k_{\text{м}} \cdot \Delta U_{\text{1н}} + k_{\beta} \cdot \Delta \omega, \quad (2.3.3)$$

где $k_{\text{м}} = \frac{\Delta M}{\Delta U_{\text{1н}}}$ - коэффициент чувствительности по моменту к изменению первой

гармоники напряжения, Н·м·В⁻¹;

k_{β} - жесткость механической характеристики двигателя, Н·м·с/рад.

Уравнение движения для установившегося режима работы электропривода

$$M - M_{\text{с}} = M_{\text{дин}} = J_{\Sigma} \frac{d\omega}{dt}. \quad (2.3.4)$$

Подставим (2.3.3) в уравнение движения (2.3.4), получим:

$$k_{\text{м}} \cdot U_{\text{1н}} + k_{\beta} \cdot \omega - M_{\text{с}} = J_{\Sigma} \frac{d\omega}{dt}. \quad (2.3.5)$$

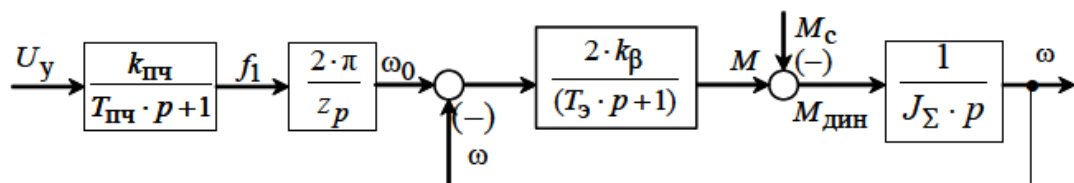


Рисунок 13 – Структурная схема системы преобразователь частоты - асинхронный двигатель при частотном регулировании скорости

2.5 Расчет и моделирование переходных процессов пуска асинхронного двигателя прямым включением в сеть и при изменении нагрузки

В данном разделе представлена модель асинхронного двигателя в программной среде *MATLAB Simulink*

Для того что бы создать имитационную модель асинхронного двигателя, рассчитаем его параметры:

Индуктивность фазы обмотки статора представлено в следующем выражении:

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1H}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{1,522}{2 \cdot 3,14 \cdot 70} = 0,0034 \text{ Гн.}$$

Индуктивность фазы обмотки ротора:

$$L_{2\sigma} = \frac{X'_{2H}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{2,019}{2 \cdot 3,14 \cdot 70} = 0,0045 \text{ Гн.}$$

Индуктивность цепи намагничивания:

$$L_{\mu} = \frac{X_{\mu H}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{86,713}{2 \cdot 3,14 \cdot 70} = 0,197 \text{ Гн.}$$

Имитационная модель приведена на рисунке 14.

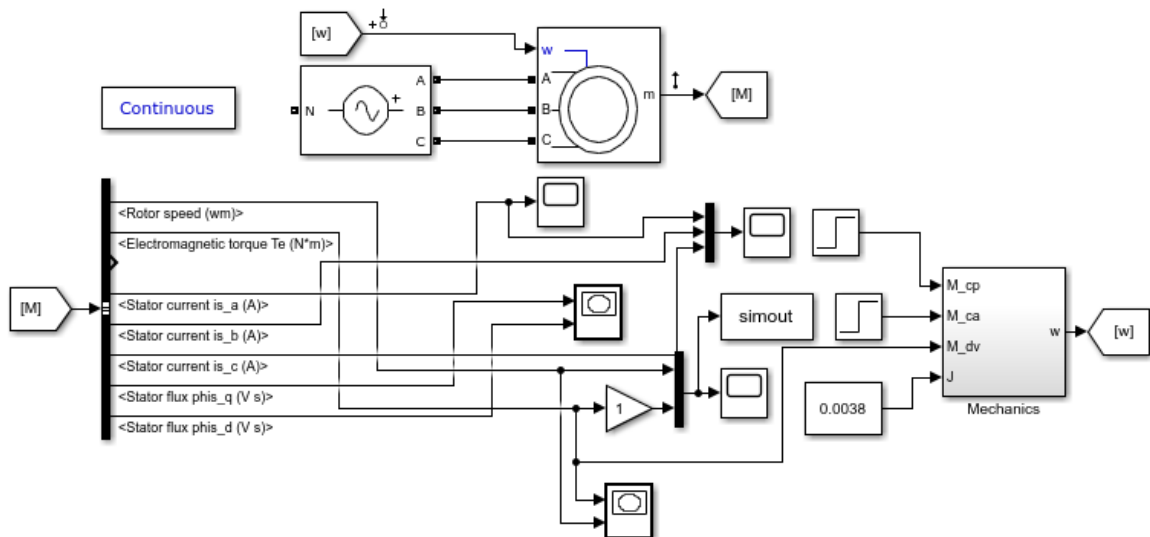


Рисунок 14 - Имитационная модель асинхронного двигателя при прямом пуске

На рисунке 15 представлена модель блока двигателя с заданными параметрами схемы замещения.

Configuration	Parameters	Advanced	Load Flow
Nominal power, voltage (line-line), and frequency [Pn(VA), Vn(Vrms), fn(Hz)]: [1500 330 70]			
Stator resistance and inductance[Rs(ohm) Lls(H)]: [2.762 0.0034]			
Rotor resistance and inductance [Rr'(ohm) Llr'(H)]: [2.876 0.0045]			
Mutual inductance Lm (H): 0.197			
Inertia, friction factor, pole pairs [J(kg.m^2) F(N.m.s) p()]: [0.0038 0 2]			
Initial conditions [slip, th(deg), ia, ib, ic(A), pha, phb, phc(deg)]: [1,0 0,0,0 0,0,0]			
<input type="checkbox"/> Simulate saturation		Plot	
[i(Arms) ; v(VLL rms)]: , 302.9841135, 428.7778367 ; 230, 322, 414, 460, 506, 552, 598, 644, 690]			

Рисунок 15 - Модель блока двигателя с заданными параметрами

Ниже представлены переходные процессы скорости и момента (рисунок 16), а также динамическая характеристика (рисунок 17) при прямом пуске и набросе нагрузки.

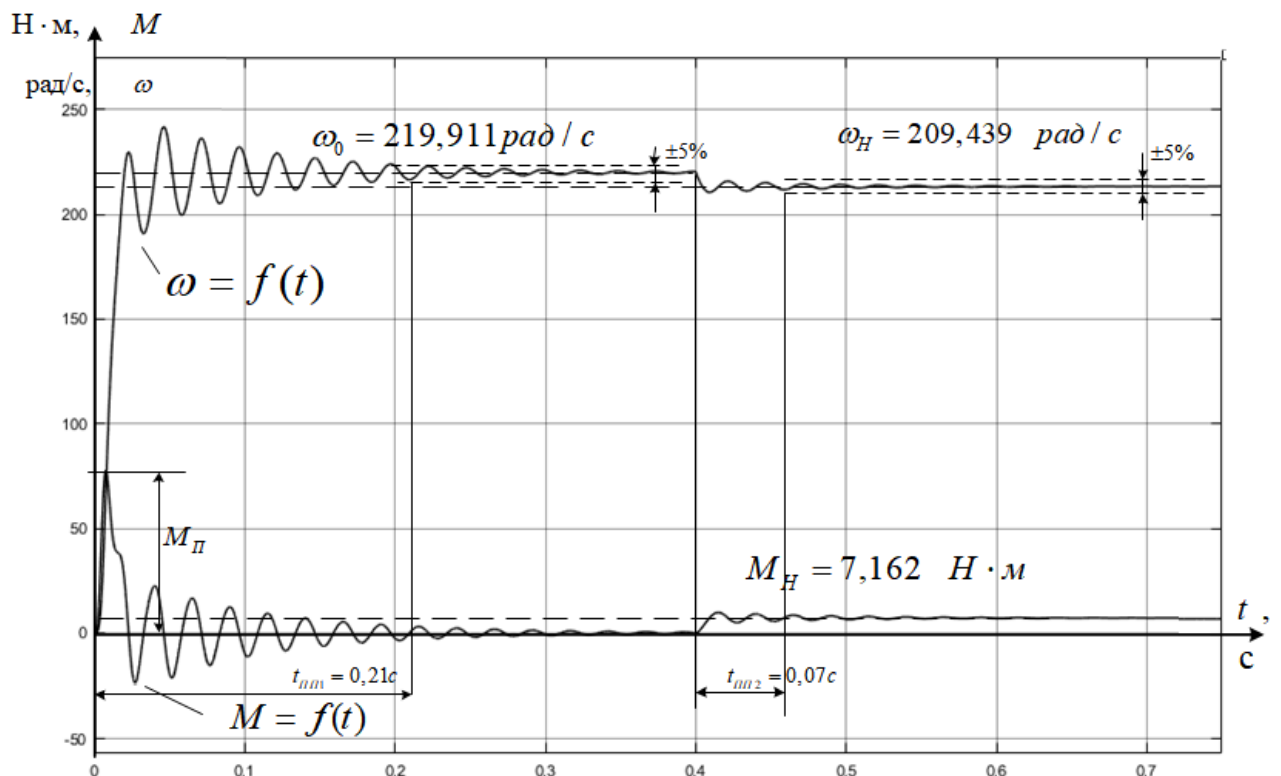


Рисунок 16 - Переходная характеристика скорости ротора АД и момента при прямом пуске и набросе нагрузки в момент времени $t=0,4$

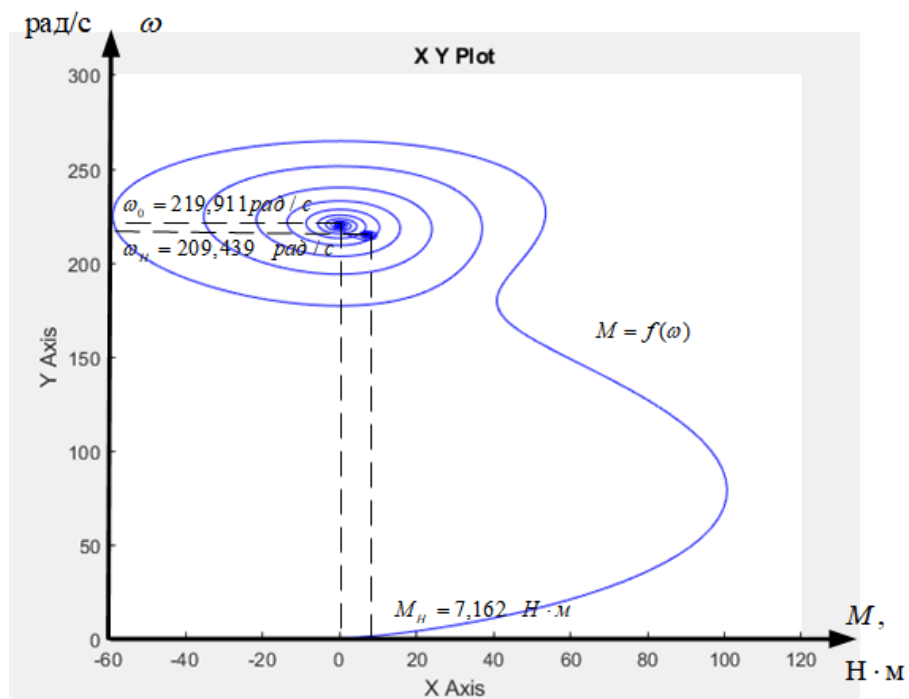


Рисунок 17 - Динамическая механическая характеристика двигателя при прямом пуске и набросе нагрузки

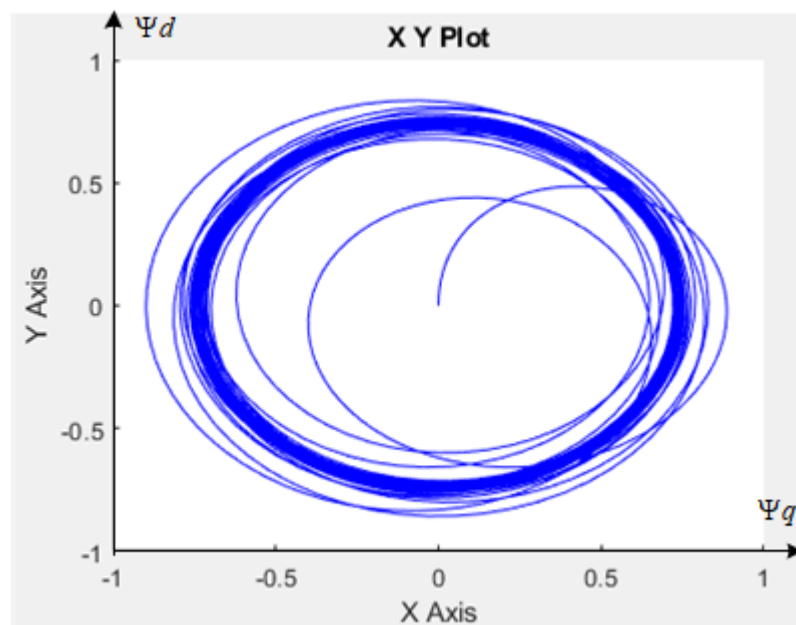


Рисунок 18 –Вращающееся поле статора в координатной системе d q

Приведенные выше характеристики показывают адекватность работы модели двигателя. В таблице №3 сведены расчетные параметры и параметры, полученные с имитационной модели по скорости и моменту двигателя.

Таблица №3 - Параметры двигателя

Параметр	Расчетная модель	Имитационная модель
ω_0 , рад/с	219,911	220
ω_n , рад/с	209,439	210
M_n , Н·м	7,162	7,2

Значения полученной скорости идеального холостого хода и номинальной скорости при номинальной нагрузке совпадают с расчетными. В качестве нагрузки примем номинальное значение.

На динамических характеристиках при прямом пуске АД под нагрузкой видно, что значения скорости и момента практически такие же, как и при набросе нагрузки. Различия только в том, что увеличилась колебательность системы по моменту, это хорошо видно из рисунков 16 - 18.

3 Выбор и обоснование системы управления электроприводом

«Оптимальный способ управления АД зависит от требований предъявляемой к системе электропривода согласно технологическому процессу. В электроприводах, в которых диапазон регулирования ограничен и отсутствует динамический режим работы, используется частотно-параметрический способ регулирования, при котором частота изменяется принудительно и значение выходного напряжения ПЧН соответствует с заданной скорости.

В электроприводах, в которых диапазон регулирования ограничен, к которым предъявляются высокие требования к динамическим режимам, применяется частотно-токовый способ регулирования. В данных приводах принудительно регулируются частота и действующее значение выходного тока ПЧТ, в зависимости от абсолютного скольжения двигателя при заданной скорости и действующей нагрузке.

В электроприводах с большим диапазоном регулирования скорости и высокими требованиями к динамическим характеристикам применяется регулирование мгновенных значений трехфазной системы питающих

напряжений и токов с использованием частотно-векторного принципа регулирования». [7]

Условное разграничение регулируемых ЭП по параметрам и сравнительной стоимости представлено в таблице №4.

Таблица №4 - Сравнение систем регулирования скорости АД по основным параметрам

Регулируемый ЭП	ЭП со скалярным управлением	ЭП с векторным управлением
Диапазон регулирования скорости	Узкий 1:5-1:20	Широчайший 1:100-1:10000 ¹
Управление скоростью	Есть	Есть
Управление моментом	Нет	Есть
Возможность точного позиционирования	Нет	Может быть
Возможность регулирования положения	Нет	Да
Относ. статическая ошибка при стабильной скорости по разомкнутому контуру	+/- 10%	+/- 1% - +/- 5%
Относ. статическая ошибка при стабильной скорости по замкнутому контуру	+/- 1%	+/- 1% - +/- 0,1%
Существует возможность контроля за моментом на «нулевых» скоростях	Нет	Есть
Можно управлять несколькими двигателями одновременно от одной СУ	Есть	Нет
Есть ли необходимость в подвижном скользящем контакте на двигателе?	Нет	Нет
Относительная стоимость обслуживания привода.	\$	\$
Основные области применения	Технологические установки с небольшим диапазоном регулирования и низким пусковым моментом (коммунальное хозяйство)	Высоко моментные технологические установки с широким диапазоном регулирования.
Относительная стоимость самого привода	\$	\$

Примечание:

1. На валу двигателя должен быть датчик скорости или положения.
2. При разработке необходимо учесть, что каждый двигатель должен иметь отдельную защиту.

3.1 Выбор преобразователя частоты

Исходя из требований к электроприводу запорной арматуры нефтепровода, на основе вышеприведенного анализа способов управления скоростью АД, выбираем ЭП с векторным управлением. Преобразователь частоты, обладающий полным набором возможностей для реализации поставленных задач выбираем той же фирмы, что и двигатель: KEB COMBIVERT F5-Multi (многофункциональный: управляемый поле-ориентированный преобразователь частоты для трехфазных асинхронных двигателей). Функции этого типа преобразователя приведены в таблице №5. [8]

Таблица №5 – Функции преобразователей KEB COMBIVERT серии F5-Multi

Функции	F5-MULTI
Диапазон мощностей	1.5 - 315
Напряжение питания	1x220v 3x380v
Макс. выходная частота	1600Hz
Макс. частота модуляции	16 kHz
Обратная связь по скорости	+
Обратная связь по положению	ЕСТЬ
Векторное управление	ЕСТЬ
Контроль скорости	ЕСТЬ
Контроль момента	ЕСТЬ
Возможность позиционирования	ЕСТЬ
Возможность подключения датчика ОС	ЕСТЬ
Sensorless Motor Management (управление без датчика ОС)	ЕСТЬ
Аналоговый вход	2 входа 0..10v \pm 10v 0/4..20ma
Аналоговый выход	2 выхода 0..10v
Дискретные входы	8

Дискретные выходы (релейные)	2
Дискретные выходы (транзисторные)	2
Наборы параметров	8
«Технологический PID- регулятор»	ЕСТЬ
Разгон/торможение по рампе	ЕСТЬ
Разгон/торможение по S - кривой	ЕСТЬ

Руководствуясь техническими требованиями к электроприводу САР давления НПС, выбираем преобразователь частоты со следующей кодировкой: 10.F5.M2B-3A10, где: 10 – типоразмер инвертора;

F5 – серия;

M2B: Multi со встроенным фильтром и типоразмером корпуса “B”;

3 – 3-х фазный 400 В AC/DC;

A – 8 кГц/180% (макс.кратковрем. ток)/216% (ток срабатывания защиты);

1 – инкрементальный вход и выход;

0 – охлаждение стандартное.

Параметры выбранного преобразователя представлены в таблице №6.

Таблица №6 - Параметры преобразователя КЕВ 10.F5.M2B-3A10

Наименование параметра	Показатель
Номинальная выходная мощность, кВА	4
Макс. паспортная мощность двигателя, кВт	2.2
Номинальный выходной ток, А	5.8
Максимальный кратковременный ток, А	10.4
Ток срабатывания защиты, А	12.5
Номинальный входной ток, А	8
Номинальная частота модуляции, Гц	8000
Максимальная частота модуляции, Гц	16000
Мощность потерь при номинальном режиме, Вт	120
Максимальный ток входных предохранителей, А	16
Сечение входных проводов, мм ²	1.5
Мин. сопротивление тормозного резистора, Ом	82
Частота сети, Гц	50/60 ±2
Температура хранения, °С	-25...70
Рабочая температура, °С	-10...45
Конструкция/тип исполнения	IP20

3.2 Принцип действия преобразователя частоты

Функции управления ПЧ выполняет микроконтроллер. «Выходы модуляторов ШИМ микропроцессорной системы через микросхемы драйверов IGBT подключаются к силовым ключам инвертора. Драйверы выполняют функции согласования между транзисторами IGBT и управляющими цепями микропроцессорной системы. Кроме того, данные устройства реализуют защитные функции, снимая управляющие импульсы с силовых ключей при пропадании питающего напряжения и перегрузках по току.

Силовой канал ПЧ собран по схеме с промежуточным звеном постоянного тока и трехфазным инвертором напряжения. На рисунке 19 представлена соответствующая функциональная схема. Переменное напряжение трехфазной сети, фазы А, В, С поступает на мостовой неуправляемый выпрямитель, диоды VD1 – VD6. Выпрямленное напряжение сглаживается электролитическим конденсатором большой емкости С и поступает на трехфазный инвертор VT1 – VT6, ключами которого управляет микропроцессорная система. Напряжение на выходе инвертора формируется по закону ШИМ – модуляции и поступает к статорным обмоткам АД, фазы U, V, W» [6]

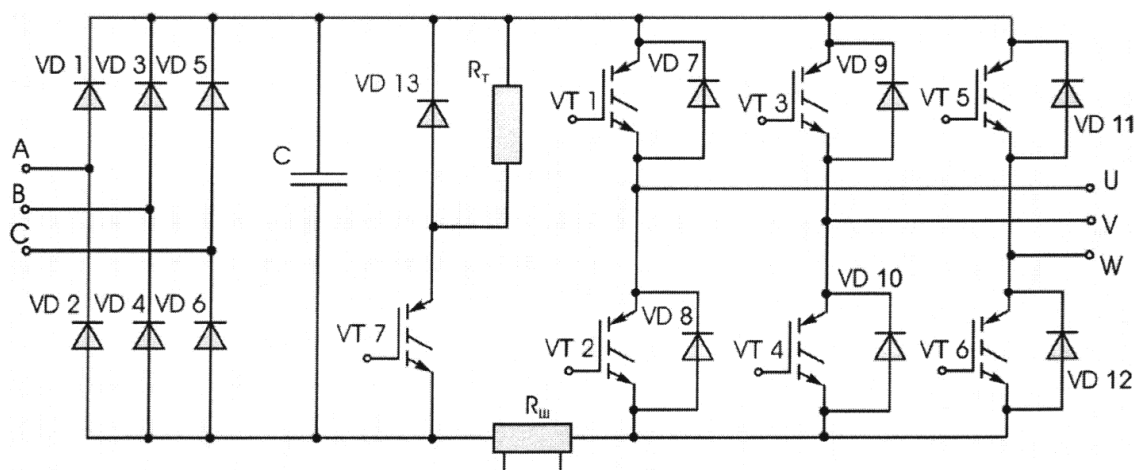


Рисунок 19 - Схема силового канала ПЧ

«В качестве силовых ключей используются IGBT транзисторы с высокой нагрузочной способностью. Для исключения токов ЭДС самоиндукции в моменты коммутации и устранения обратных напряжений, параллельно IGBT транзисторам включаются быстродействующие диоды VD7 – VD13. Шунт Rш

включен в силовую цепь для контроля за величиной протекающего тока и выполняет функции защиты. Кроме того, в процессе работы преобразователя происходит постоянный контроль за величиной выпрямленного напряжения.

Конструктивно все элементы преобразователя размещены на двух платах, установленных друг над другом в пластиковом корпусе. На верхней крышке расположен жидкокристаллический индикатор и пульт управления. Непосредственно под крышкой находится основная плата управления. На ней располагаются компоненты микропроцессорной системы и разъёмы для подключения дополнительных и внешних устройств.

На силовой плате размещён силовой модуль с IGBT транзисторами, драйверы, датчики тока, конденсаторы фильтра цепи выпрямленного напряжения, блок питания.

Модуль включает в себя диоды выпрямителя, IGBT транзисторы инвертора, шунт, температурный датчик и дополнительный ключ для «слива» энергии в тормозных режимах. Данный модуль соединён с теплоотводящим радиатором и находится на нижней стороне платы силовых элементов. На этой же плате размещены резистор торможения и температурный датчик для контроля за тепловым режимом». [6]

Далее на рисунках 20 представлена функциональная схема преобразователя частоты.

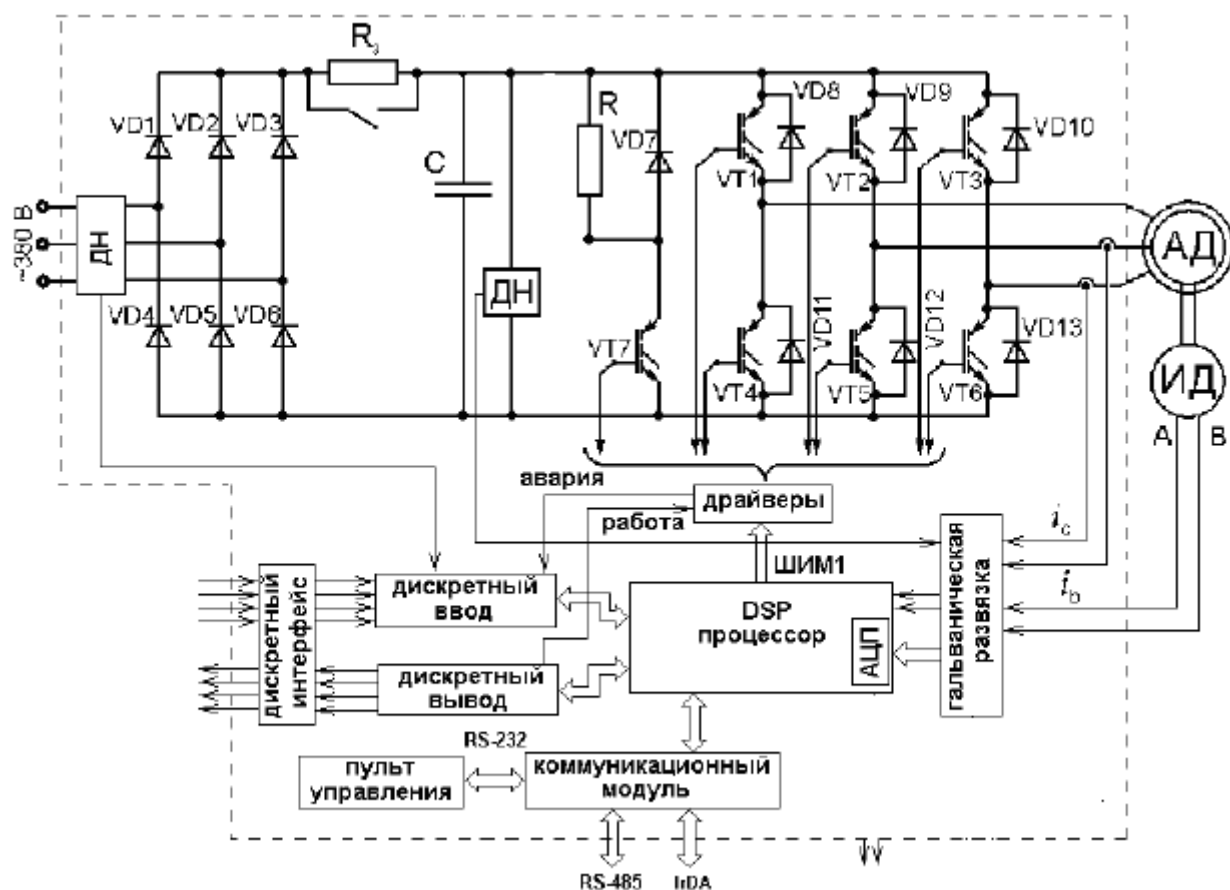


Рисунок 20 - Функциональная схема преобразователя частоты

Данный вариант с преобразователем частоты имеет широкую функциональность, за счет применения ШИМ модуляции при формировании частоты питающей сети асинхронного двигателя. Данный способ обеспечивает регулирование скорости вращения вала двигателя, и увеличивает точность позиционирования рабочего органа электропривода запорной арматуры при отработке перемещений.

4 Математическое описание обобщенной асинхронной машины

На рисунке 22 представлена обобщённая модель асинхронной машины. Модель состоит из трехфазной обмотки на статоре и роторе. Данные обмотки подключены к симметричным трехфазным источникам питания.

Математическое описание данной машины основывается на основных законах. [11]

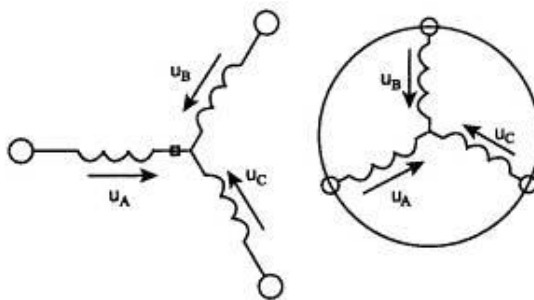


Рисунок 22 – Обобщённая асинхронная машина

При исследовании математической модели асинхронного двигателя примем, что параметры и переменные, применяемые к обмоткам ротора, приведены к количеству витков обмотки статора.

Модель многофазной машины переменного тока в номинальном и переходных режимах работы характеризуется потокоцеплениями обмоток статора и ротора и его угловой скоростью. [5]. Потокоцепление - это направленная величина, которая вращается в плоскости, перпендикулярной оси двигателя. Если считать эту плоскость комплексной, то потокоцепления могут быть представлены векторами:

$$\overline{\Psi}_1 = \overline{I}_1 \cdot L_1 + \overline{I}_2 \cdot L_m; (1)$$

$$\overline{\Psi}_2 = \overline{I}_2 \cdot L_2 + \overline{I}_1 \cdot L_m. (2)$$

Каждый вектор тока и пропорциональный ему вектор потока равен геометрической сумме, образуемых в отдельных фазах. У трехфазной обмотки оси смещены на 120° . Результирующий вектор тока:

$$I = \frac{2}{3} \cdot \left(I_a + I_b \cdot e^{j120^\circ} + I_c \cdot e^{j240^\circ} \right).$$

Токи в фазах представлены в виде проекции вектора тока на соответствующие оси обмоток.

В неподвижной системе координат:

$$\overline{U}_1 = \overline{I}_1 \cdot R_1 + \frac{d\overline{\Psi}_1}{dt}; (3)$$

$$\overline{U}_2 = \overline{I}_2 \cdot R_2 + \frac{d\overline{\Psi}_2}{dt}. (4)$$

Во вращающейся системе координат

$$\overline{U}_1 = \overline{I}_1 \cdot R_1 + \frac{d\overline{\Psi}_1}{dt} + j \cdot \omega_\kappa \cdot \overline{\Psi}_1 ; (5)$$

$$\overline{U}_2 = \overline{I}_2 \cdot R_2 + \frac{d\overline{\Psi}_2}{dt} + j \cdot (\omega_\kappa - z_p \cdot \omega) \cdot \overline{\Psi}_2 . (6)$$

Из уравнений (1) и (2) выразим:

$$\overline{I}_2 = \frac{1}{L_2} \cdot \overline{\Psi}_2 - \frac{L_m}{L_2} \cdot \overline{I}_1 ; (7)$$

$$\overline{\Psi}_1 = \overline{I}_1 \cdot L'_1 + \overline{\Psi}_2 \cdot \frac{L_m}{L_2} . (8)$$

С учётом (8) уравнение (5) примет вид:

$$\overline{U}_1 = (R' + p \cdot L'_1) \cdot \overline{I}_1 - R_2 \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot \overline{\Psi}_2 - j \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot (\omega_\kappa - z_p \cdot \omega) \cdot \overline{\Psi}_2 + j \cdot \omega_\kappa \cdot \left(L'_1 \cdot \overline{I}_1 + \frac{L_m}{L_2} \cdot \overline{\Psi}_2 \right)$$

Выражая векторы через составляющие по осям x, j у вращающейся системы координат, т.е. выделяя вещественную и мнимую части, имеем:

$$U_{1x} = (R' + pL'_1) \cdot I_{1x} - R_2 \cdot \frac{L_m}{L_2^2} \cdot \Psi_{2x} - L'_1 \cdot \omega_\kappa \cdot I_{1y} - z_p \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot \omega \cdot \Psi_{2y} ; (9)$$

$$U_{1y} = (R' + pL'_1) \cdot I_{1y} - R_2 \cdot \frac{L_m}{L_2^2} \cdot \Psi_{2y} + L'_1 \cdot \omega_\kappa \cdot I_{1x} + z_p \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot \omega \cdot \Psi_{2x} . (10)$$

Вообще говоря $U = e_{\text{дс}} + i \cdot R + L \cdot \frac{di}{dt}$, поэтому в формулах (9) и (10) можно

выделить соответствующие внутренней ЭДС двигателя по осям x и y:

$$e_{\text{двх}} = - \left[R_2 \cdot \frac{L_m}{L_2^2} \cdot \Psi_{2x} - L_1 \cdot \omega_\kappa \cdot I_{1y} - \frac{L_m}{L_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \Psi_{2y} \right] ;$$

$$e_{\text{дву}} = - \left[R_2 \cdot \frac{L_m}{L_2^2} \cdot \Psi_{2y} + L_1 \cdot \omega_\kappa \cdot I_{1x} + \frac{L_m}{L_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \Psi_{2x} \right] .$$

Подставив (10) в (6), получим:

$$\overline{U}_2 = \left(\frac{R_2}{L_2} + p \right) \cdot \overline{\Psi}_2 - R_2 \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot \overline{I}_1 + j \cdot (\omega_\kappa - z_p \cdot \omega) \cdot \overline{\Psi}_2 .$$

Раскладывая вектор на скаляры в системе x, jу, получим:

$$U_{2x} = \left(\frac{R_2}{L_2} + p \right) \cdot \Psi_{2x} - R_2 \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot I_{1x} - (\omega_k - z_p \cdot \omega) \cdot \Psi_{2y}; (11)$$

$$U_{2y} = \left(\frac{R_2}{L_2} + p \right) \cdot \Psi_{2y} - R_2 \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot I_{1y} + (\omega_k - z_p \cdot \omega) \cdot \Psi_{2x}. (12)$$

Уравнения (9)-(12) – уравнения электрического равновесия цепей статора и ротора – дополним уравнением электромагнитного момента:

$$M = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot (\Psi_{2x} \cdot I_{1y} - \Psi_{2y} \cdot I_{1x}) (13)$$

и уравнением движения

$$M - M_C = J \cdot \frac{d\omega}{dt}. (14)$$

Уравнения (9)-(14) позволяют построить математическую модель асинхронной машины в общем случае в системе координат, вращающейся с произвольной скоростью ω_k . Для асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором $U_{2x} = U_{2y} = 0$.

Математическая модель асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором может быть реализована либо путём численного решения дифференциальных уравнений, либо путём имитационного моделирования по структурной схеме.

Система дифференциальных уравнений в системе координат, вращающейся с произвольной скоростью ω_k , имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dI_{1x}}{dt} &= \frac{1}{L'_1} \cdot U_{1x} - \frac{R'_1}{L'_1} \cdot I_{1x} + \frac{R_2}{L'_1} \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot \Psi_{2x} + \omega_k \cdot I_{1y} + \frac{L_m}{L'_1 \cdot L_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \Psi_{2y}; \\ \frac{dI_{1y}}{dt} &= \frac{1}{L'_1} \cdot U_{1y} - \frac{R'_1}{L'_1} \cdot I_{1y} + \frac{R_2}{L'_1} \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot \Psi_{2y} - \omega_k \cdot I_{1x} - \frac{L_m}{L'_1 \cdot L_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \Psi_{2x}; \\ \frac{d\Psi_{2x}}{dt} &= -\frac{R_2}{L_2} \cdot \Psi_{2x} + R_2 \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot I_{1x} + (\omega_k - z_p \cdot \omega) \cdot \Psi_{2y}; \\ \frac{d\Psi_{2y}}{dt} &= -\frac{R_2}{L_2} \cdot \Psi_{2y} + R_2 \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot I_{1y} - (\omega_k - z_p \cdot \omega) \cdot \Psi_{2x}; \\ \frac{d\omega}{dt} &= \frac{1}{J} \cdot \left[\frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot z_p (\Psi_{2x} \cdot I_{1y} - \Psi_{2y} \cdot I_{1x}) - M_C \right]. \end{aligned} \right\} (16)$$

При $\omega_k=0$ система (16) представляет собой математическую модель АД в неподвижной системе координат.

5 Разработка системы управления

5.1 Система уравнений для составления структурной схемы

Система уравнений для составления структурной схемы АД с короткозамкнутым ротором в системе координат, вращающейся со скоростью ω_k , имеет вид [7]:

$$\left. \begin{aligned} U_{1x} &= R' \cdot (T_1 \cdot p + 1) \cdot I_{1x} - \frac{K_2}{T_2} \cdot \Psi_{2x} - L'_1 \cdot \omega_k \cdot I_{1y} - \frac{L_m}{L_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \Psi_{2y}; \\ U_{1y} &= R' \cdot (T_1 \cdot p + 1) \cdot I_{1y} - \frac{K_2}{T_2} \cdot \Psi_{2y} + L'_1 \cdot \omega_k \cdot I_{1x} + \frac{L_m}{L_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \Psi_{2x}; \\ 0 &= (T_2 \cdot p + 1) \cdot \Psi_{2x} - L_m \cdot I_{1x} - T_2 \cdot (\omega_k - z_p \cdot \omega) \cdot \Psi_{2y}; \\ 0 &= (T_2 \cdot p + 1) \cdot \Psi_{2y} - L_m \cdot I_{1y} + T_2 \cdot (\omega_k - z_p \cdot \omega) \cdot \Psi_{2x}; \\ M &= \frac{3}{2} \cdot K_2 \cdot z_p \cdot (\Psi_{2x} \cdot I_{1y} - \Psi_{2y} \cdot I_{1x}); \\ p \cdot \omega &= \frac{1}{J} \cdot (M - M_C). \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

$$\text{где } K_2 = \frac{L_m}{L_2}; T_2 = \frac{L_2}{R_2}; T_1 = \frac{L'_1}{R'} = \frac{\sigma \cdot L_1}{R'}; R' = R_1 + R_2 \cdot \frac{L_m^2}{L_2^2}; \sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_1 \cdot L_2}; L' = \sigma \cdot L_1.$$

Структурная схема двигателя во вращающейся системе координат приведена на рисунке 23

Если во вращающейся системе координат совместить ось x с вектором потокосцепления ротора, то $|\overline{\Psi}_2| = \Psi_{2x}$, $\Psi_{2y} = 0$ и система (17) приобретает вид:

$$\left. \begin{aligned}
I_{1x} &= \frac{1/R'}{T_1 \cdot p + 1} \cdot \left[U_{1x} + \frac{K_2}{T_2} \cdot \Psi_{2x} + L_1' \cdot \omega_\kappa \cdot I_{1y} \right] \\
I_{1y} &= \frac{1/R'}{T_1 \cdot p + 1} \cdot \left[U_{1y} - K_2 \cdot z_p \cdot \omega \cdot \Psi_{2x} - L_1' \cdot \omega_\kappa \cdot I_{1x} \right] \\
\Psi_{2x} &= \frac{L_m}{T_2 \cdot p + 1} \cdot I_{1x} \\
\omega_\kappa &= z_p \cdot \omega + \frac{L_m}{T_2} \cdot \frac{I_{1y}}{\Psi_{2x}} \\
M &= \frac{3}{2} \cdot K_2 \cdot z_p \cdot \Psi_{2x} \cdot I_{1y} \\
\omega &= \frac{1}{J \cdot p} \cdot (M - M_C)
\end{aligned} \right\} (18)$$

Системе уравнений (18) соответствует структурная схема АД во вращающейся системе координат, приведённая на рисунке 23.

Параметры структурной схемы приведены в таблице №7.

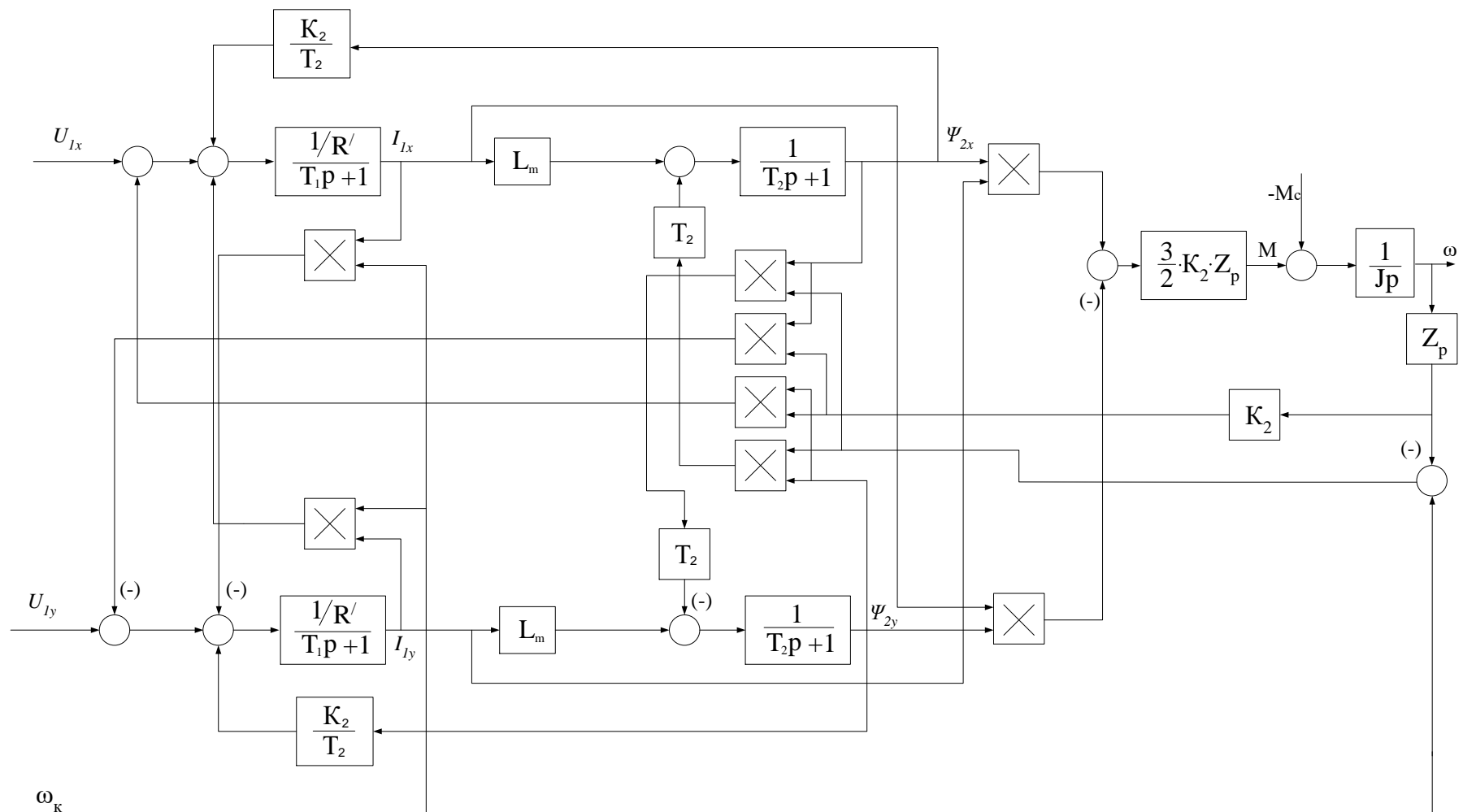


Рисунок 23— Структурная схема двигателя во вращающейся системе координат x и y

Таблица №7 – Параметры структурной схемы

$R', \text{ Ом}$	$L', \text{ Гн}$	$T_1, \text{ с}$	$T_2, \text{ с}$	K_2	z_p
3.601	0.00812	0.002254	0.122578	0.97029	2

В структурной схеме можно выделить 2 контура регулирования:

- потокосцепления $\Psi_{2x} (U_{1x} \rightarrow \Psi_{2x})$;
- тока ($U_{1y} \rightarrow I_{1y}$).

Как видно из структурной схемы рисунка 23 и выражений (18), если пренебречь составляющими ЭДС двигателя по осям x и y

$$e_{\partial vx} = -\frac{K_2}{T_2} \cdot \Psi_{2x} - L_1 \cdot \omega_k \cdot I_{1y};$$

$$e_{\partial vy} = K_2 \cdot z_p \cdot \omega \cdot \Psi_{2x} + L_1 \cdot \omega_k \cdot I_{1x},$$

то систему автоматического управления можно представить в виде двух подсистем: САУ потокосцепления и САУ скорости, которые приведены на рисунке 25.

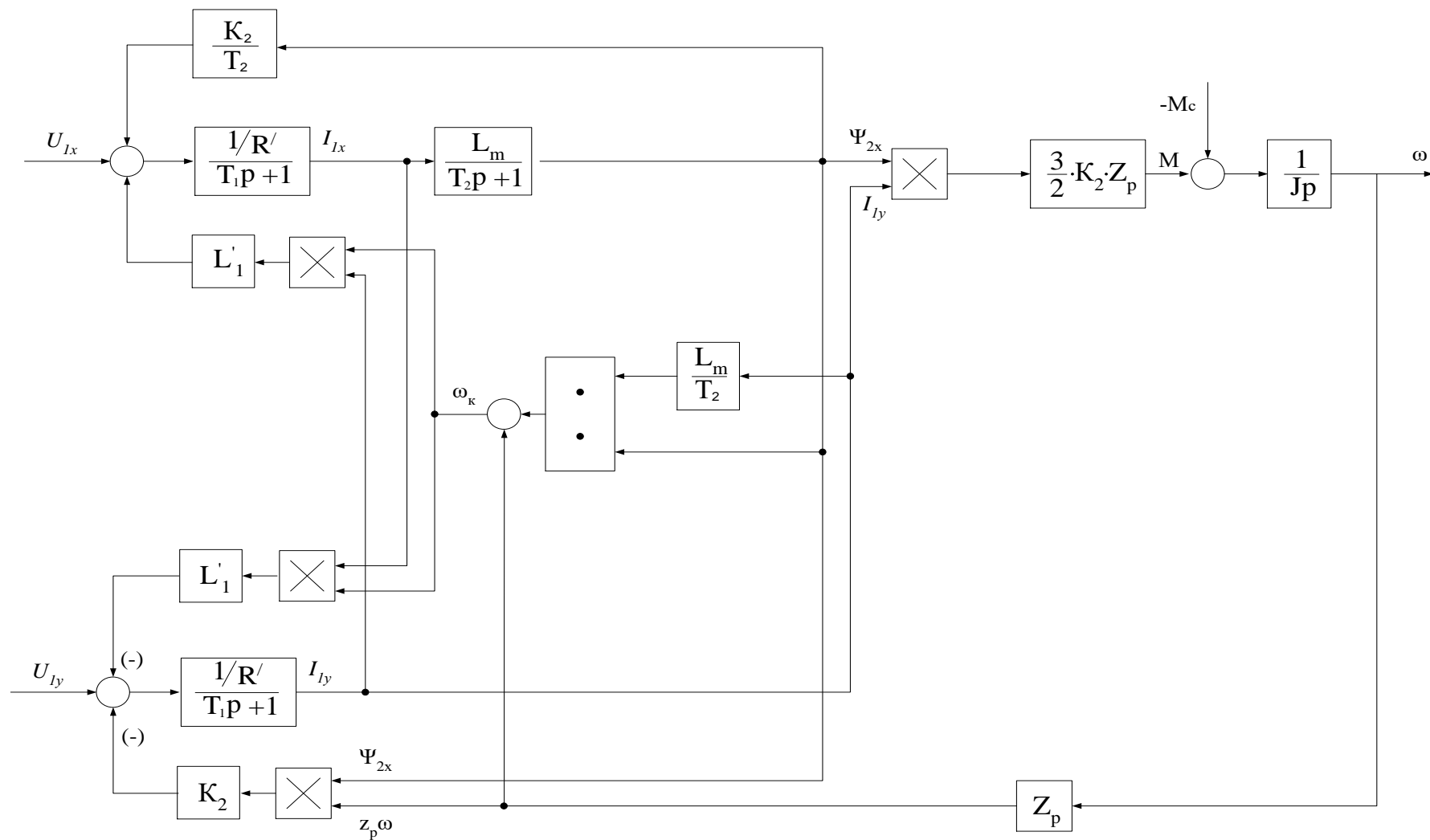


Рисунок 24 – Структурная схема двигателя во вращающейся системе координат

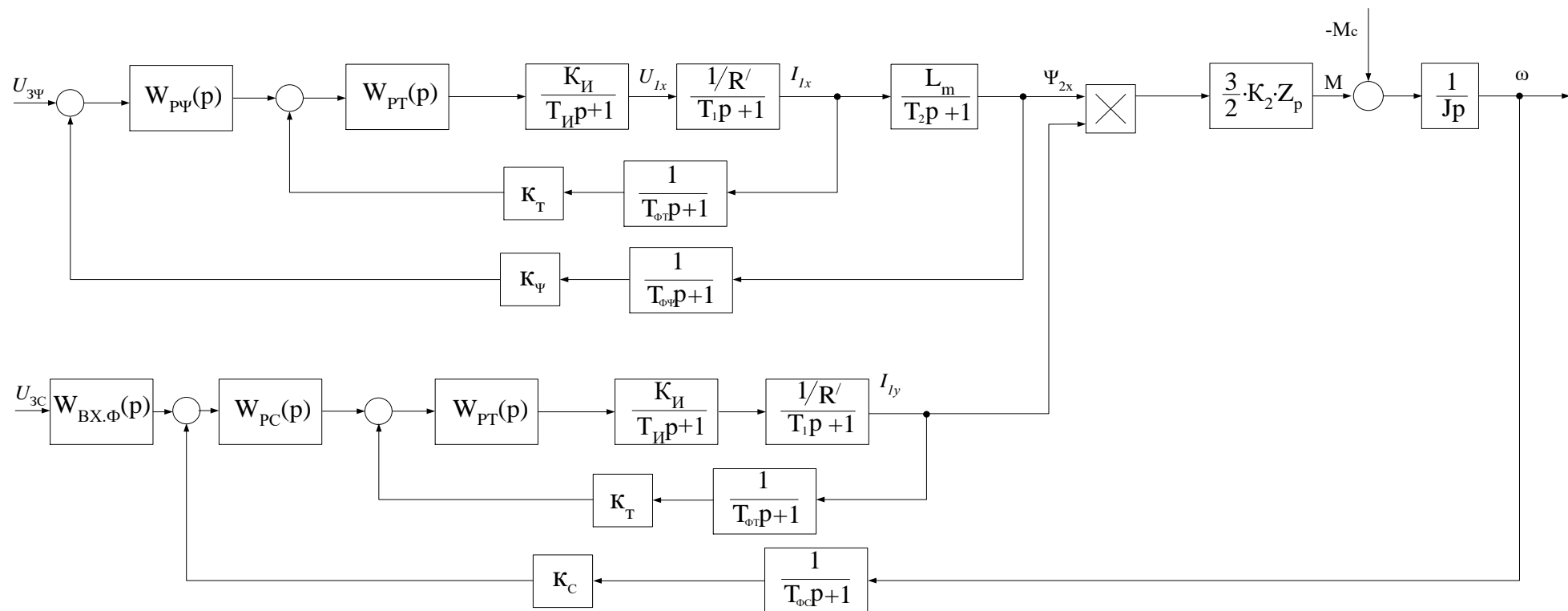


Рисунок 25 – Структурная схема асинхронного электропривода с векторным управлением

Данная структурная схема асинхронного электропривода с векторным управлением и ориентацией по вектору потокосцепления ротора приведенная на рисунке 25 является двухконтурной, с двумя подчиненными контурами потокосцепления и скорости, а также с внутренними контурами тока.

На рисунке 25 применяются следующие обозначения:

$W_{p\psi}(p)$ - передаточная функция регулятора потокосцепления;

$W_{pv}(p)$ - передаточная функция регулятора скорости;

$W_{pT}(p)$ - передаточная функция регулятора тока;

K_H - коэффициент передачи инвертора напряжения;

T_H - постоянная времени запаздывания инвертора напряжения;

$R' = R_1 + R_2'$ - суммарное активное сопротивление АД;

$T_1 = \frac{\sigma \cdot L_{\sigma}}{R'}$ - электромагнитная постоянная времени цепи обмотки статора;

$L_{\sigma} = L_1 + L_K$ - суммарное индуктивное сопротивление цепи обмотки статора АД;

$T_2 = \frac{L_2'}{R_2}$ - электромагнитная постоянная времени цепи обмотки ротора;

K_{ψ} - коэффициент обратной связи по потокосцеплению;

$T_{\phi\psi}$ - постоянная времени запаздывания в цепи обратной связи по потокосцеплению;

K_c - коэффициент обратной связи по скорости;

$T_{\phi c}$ - постоянная времени запаздывания в цепи обратной связи по скорости;

K_T - коэффициент обратной связи по току;

$T_{\phi T}$ - постоянная времени запаздывания в цепи обратной связи по току. [6]

5.2 Оптимизация системы автоматического управления

регулируемого электропривода

Оптимизацию выполняем при следующем допущении. Считаем, что влияние внутренней ЭДС двигателя скомпенсировано, т.е. не учитываем

$$e_{\text{ДВХ}} = -\frac{K_2}{T_2} \cdot \Psi_{2x} - L_1 \cdot \omega_k \cdot I_{1y};$$

$$e_{\text{ДВУ}} = K_2 \cdot z_p \cdot \omega \cdot \Psi_{2x} + L_1 \cdot \omega_k \cdot I_{1x}.$$

При этих допущениях структурную схему САУ можно рассматривать в виде двух независимых САУ: САУ потокосцепления и САУ скорости. Структурная схема силового канала для этого случая приведена на рисунке 26.

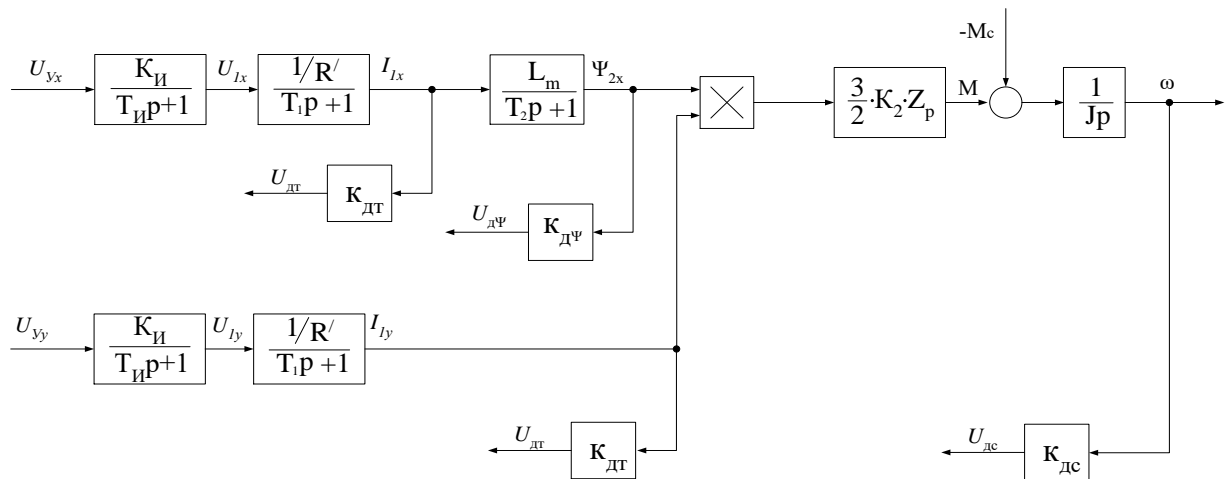


Рисунок 26 – Структурная схема силовой цепи

5.3 Оптимизация САУ потокосцепления

Для исследования воспользуемся имитационными моделями, разработанными на кафедре электропривода ТПУ.

Структурная схема линейризованной двухконтурной САУ потокосцепления приведена на рисунке 27.

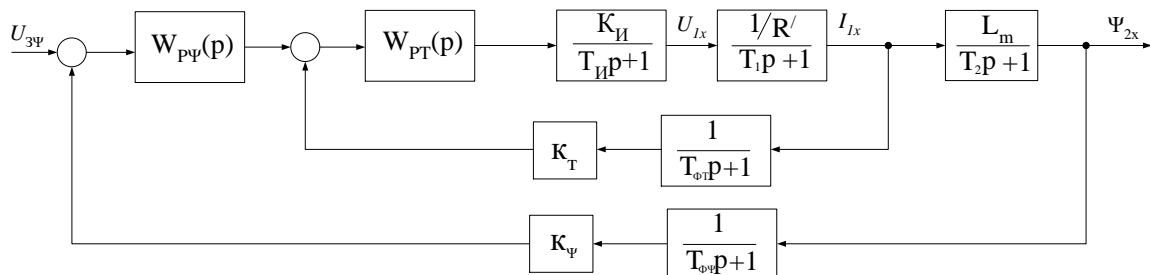


Рисунок 27 – Структурная схема линейризованной двухконтурной САУ потокосцепления

Оптимизация контура тока:

Структурная схема контура приведена на рисунке 28.

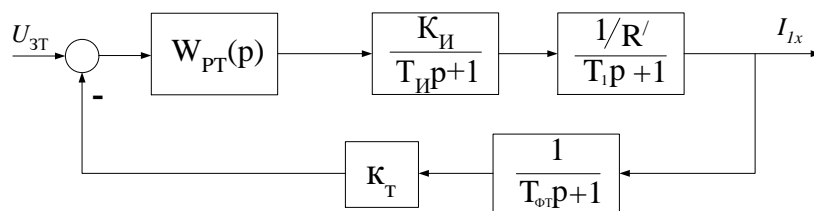


Рисунок 28 – Структурная схема контура тока

Контур содержит инерционные звенья первого порядка с постоянными времени: $T_1 = 0.0022545\text{с}$; $T_{\text{и}} = \frac{0.5}{f} = \frac{0.5}{8000} = 0.0000625\text{с}$; $T_{\text{ФТ}} = 0.0003333\text{с}$.

Принимаем малую некомпенсированную постоянную времени контура

$$T_{\text{ит}} = T_{\text{иПК}} + T_{\text{иОК}} ,$$

где $T_{\text{иПК}}$ - постоянная времени прямого канала контура тока;

$T_{\text{иОК}}$ - постоянная времени обратного канала контура тока.

$$T_{\text{иПК}} = T_{\text{и}} = 0.0000625\text{с};$$

$$T_{\text{иОК}} = T_{\text{ФТ}} + T_{\text{АЦП}} = 0.0003333\text{с};$$

$$T_{\text{ит}} = T_{\text{иПК}} + T_{\text{иОК}} = 0.0000625 + 0.0003333 = 0.0003958\text{с}.$$

Контур тока настраиваем на модульный оптимум (МО). С учетом параметров контура выбираем ПИ – регулятор с передаточной функцией

$$W_{\text{PT}}(p) = k_{\text{PT}} \cdot \frac{T_{\text{PT}} \cdot p + 1}{T_{\text{PT}} \cdot p},$$

где $T_{\text{PT}} = T_1 = 0.0022545\text{с}$ - постоянная времени регулятора;

$$k_{\text{PT}} = \frac{T_1 \cdot R'}{k_{\text{И}} \cdot k_{\text{Т}} \cdot a_{\text{Т}} \cdot T_{\text{ит}}} = \frac{0.0022545 \cdot 3.601}{26.87 \cdot 0.962 \cdot 2 \cdot 0.0003958} = 0.39678 \quad - \quad \text{коэффициент}$$

усиления регулятора;

$$k_{\text{Т}} = \frac{U_{\text{ЗТ.макс}}}{I_{\text{Лмакс}}} = \frac{10}{10.4} = 0.962 \frac{\text{В}}{\text{А}} \quad - \quad \text{коэффициент обратной связи по току};$$

$U_{\text{ЗТ.макс}}$ - максимальное напряжение задания на ток $U_{\text{ЗТ.макс}} = 10\text{В}$;

$a_{\text{Т}} = 2$ - коэффициент оптимизации контура тока по МО.

$I_{1\text{макс}} = 10.4 \text{ А}$ – максимальный кратковременный ток преобразователя (см. таблицу 6).

Ожидаемые показатели работы замкнутого контура тока:

$\sigma = 4.3\%$ - перерегулирование;

$t_{\text{py1}}^{(5)} = 4.1 \cdot T_{\text{мт}} = 4.1 \cdot 0.0003958 = 0.0016229 \text{ с}$ - время первого согласования;

$t_{\text{py2}}^{(5)} = 4.1 \cdot T_{\text{мт}} = 4.1 \cdot 0.0003958 = 0.0016229 \text{ с}$ - время переходного процесса

при отработке ступенчатого управляющего задания;

$\omega_{\Pi}^{(м)} = \omega_{\Pi}^{(ф)} = \frac{0.71}{T_{\text{мт}}} = \frac{0.71}{0.0003958} = 1793.68 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ - полоса пропускания по

модулю и фазе.

По структурной схеме контура тока (см. рисунок 28) строим имитационную модель, представленную на рисунке 29.

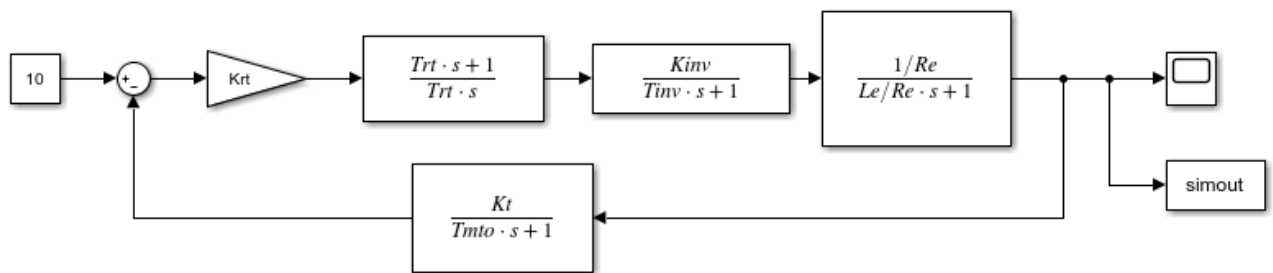


Рисунок 29 - Имитационная модель контура тока

Результаты моделирования переходных процессов в контуре тока, настроенного на модульный оптимум при отработке ступенчатого входного воздействия $U_{\text{зт}} = 0.1 \text{ В}$ приведены в виде переходной характеристики $i(t)$ на рисунке 30.

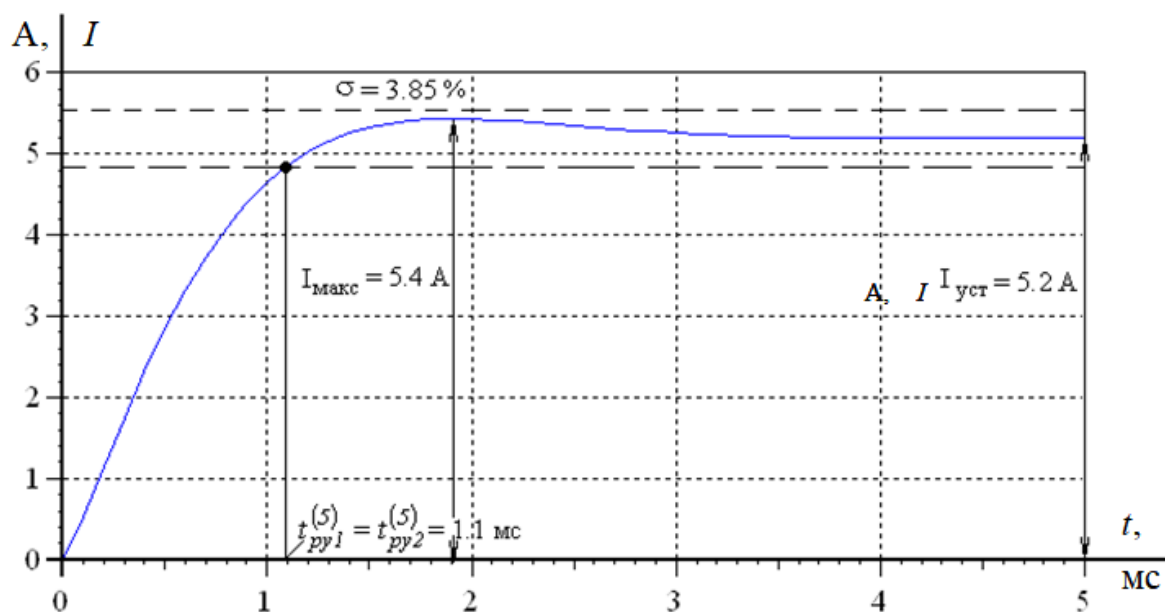


Рисунок 30 - Переходная характеристика $i(t)$ контура тока по структурной схеме

Анализ полученных результатов моделирования показывает, что они наилучшим образом согласуются с ожидаемыми показателями работы контура.

Для наглядности сведем результаты моделирования в таблицу №8

Таблица №8 – Показатели работы контура тока

Показатели	Ожидаемые	Полученные
$\sigma, \%$	4.3	4.3
$t_{\text{py1}}^{(5)} = t_{\text{py2}}^{(5)}, \text{ c}$	0.0016229	0.0011

Оптимизация контура потокосцепления

Структурная схема контура потокосцепления приведена на рисунке 31.

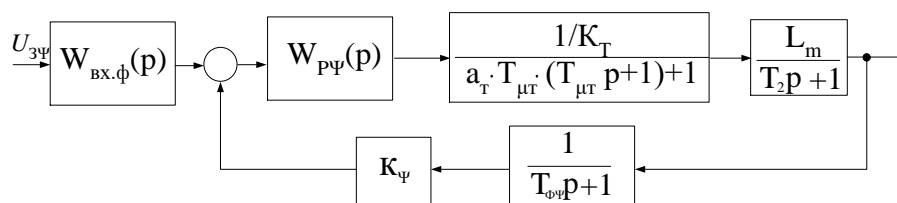


Рисунок 31 – Структурная схема контура потокосцепления

Параметры элементов контура:

Контур потокосцепления настраиваем на МО. С учетом параметров контура выбираем ПИ – регулятор с передаточной функцией

$$W_{p\Psi}(p) = k_{p\Psi} \cdot \frac{T_{p\Psi} \cdot p + 1}{T_{p\Psi} \cdot p},$$

где $k_{p\Psi}$ - коэффициент усиления регулятора.

Малая постоянная времени контура потокосцепления

$$k_{p\Psi} = \frac{\kappa_T \cdot T_2}{\kappa_\Psi \cdot L_m \cdot 2 \cdot T_{\mu\Psi}} = \frac{0.962 \cdot 0.1225781}{16.369 \cdot 0.16972 \cdot 2 \cdot 0.001125} = 18.865 \quad - \quad \text{коэффициент}$$

регулятора потокосцепления;

$$T_{\mu\Psi} = a_T \cdot T_{\mu T} + T_{\Phi\Psi} = 2 \cdot 0.0003958 + 0.0003333 = 0.001125 \text{ с}.$$

$$k_\Psi = \frac{U_{3\Psi \text{ макс}}}{\Psi_{2\text{ макс}}} = \frac{U_{3\Psi \text{ макс}}}{\frac{\sqrt{2}U_H}{2\pi f_H}} = \frac{10}{\frac{\sqrt{2} \cdot 190}{6.28 \cdot 70}} = 16.369 \frac{\text{В}}{\text{Вб}} - \text{коэффициент обратной связи по}$$

потокосцеплению.

$$W_{\text{вх.ф.}}(p) = \frac{1}{T_{\Phi\Psi} \cdot p + 1} = \frac{1}{0.0003333 \cdot p + 1} - \text{передаточная функция фильтра}$$

на входе контура потокосцепления.

Ожидаемые показатели работы замкнутого контура скорости, настроенного на МО

$$\sigma = 8.1\% - \text{перерегулирование};$$

$$t_{\text{py1}}^{(5)} = 7 \cdot T_{\mu T} = 7 \cdot 0.0003958 = 0.0027708 \text{ с} - \text{время первого согласования};$$

$$t_{\text{py2}}^{(5)} = 12 \cdot T_{\mu T} = 12 \cdot 0.0003958 = 0.00475 \text{ с} - \text{время переходного процесса при}$$

отработке ступенчатого управляющего задания;

$$\omega_{\Pi}^{(M)} = \frac{0.5}{T_{\mu T}} = \frac{0.5}{0.0003958} = 1263.2 \frac{\text{рад}}{\text{с}} - \text{полоса пропускания по модулю};$$

$$\omega_{\Pi}^{(\Phi)} = \frac{0.35}{T_{\mu T}} = \frac{0.35}{0.0003958} = 884.211 \frac{\text{рад}}{\text{с}} - \text{полоса пропускания по фазе}.$$

По структурной схеме контура скорости набирается имитационная модель, представленная на рисунке 32.

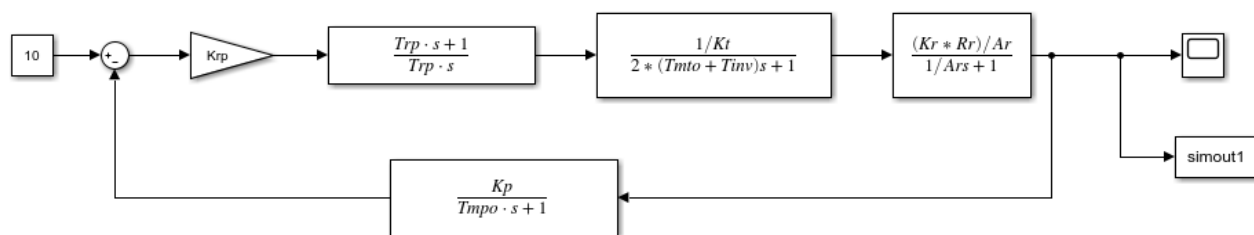


Рисунок 32 – Имитационная модель контура потокосцепления

Результаты моделирования переходных процессов в контуре потокосцепления, настроенного на модульный оптимум, при отработке ступенчатого входного воздействия $U_{3\Psi} = 0.1$ В приведены в виде переходных характеристик $\Psi(t)$ и $I(t)$ на рисунке 33.

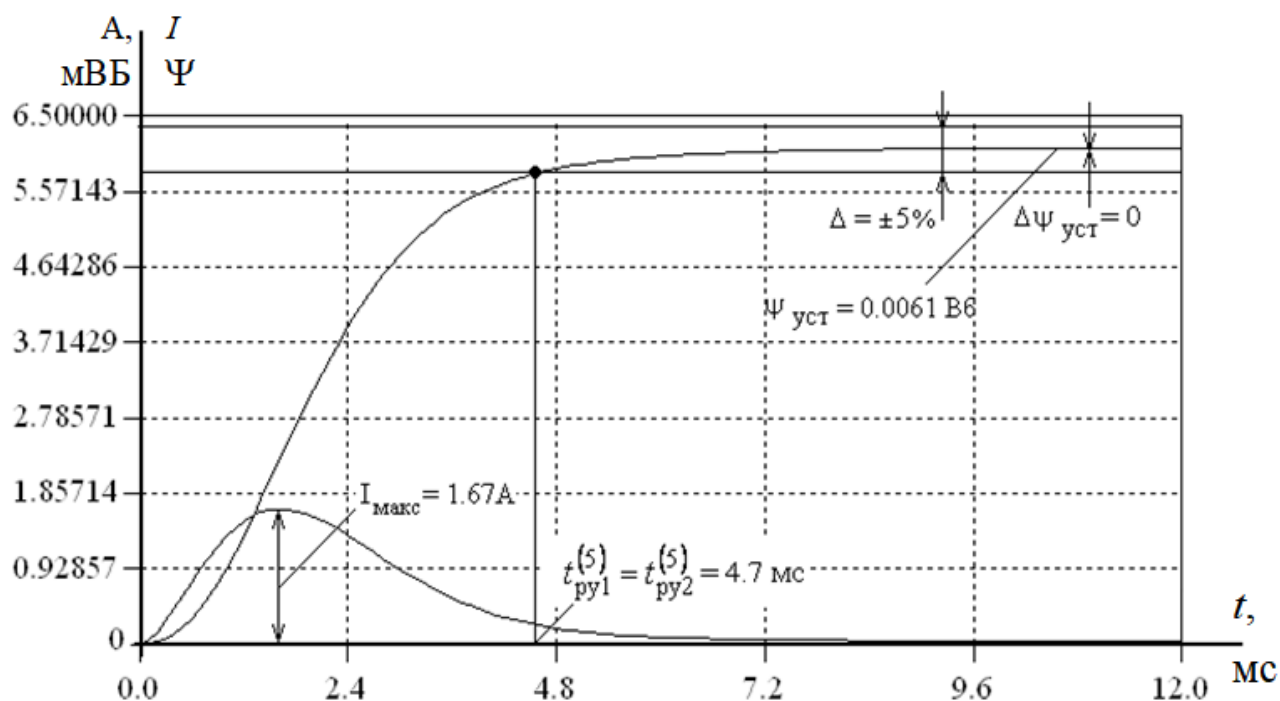


Рисунок 33 – Переходные характеристики $\Psi(t)$ и $i(t)$ контура потокосцепления

Таблица №9 – Показатели работы замкнутого контура скорости

Показатели	Ожидаемые	Полученные
$\sigma, \%$	8.1	0
$t_{py1}^{(5)}, c$	0.0027708	0.0047
$t_{py2}^{(5)}, c$	0.00475	0.0047

Разница экспериментальных и ожидаемых параметров связана с наличием апериодического звена первого порядка в цепи обратной связи контура и на его входе.

5.4 Оптимизация САР скорости

Структурная схема линейаризованной САР скорости приведена на рисунке 34.

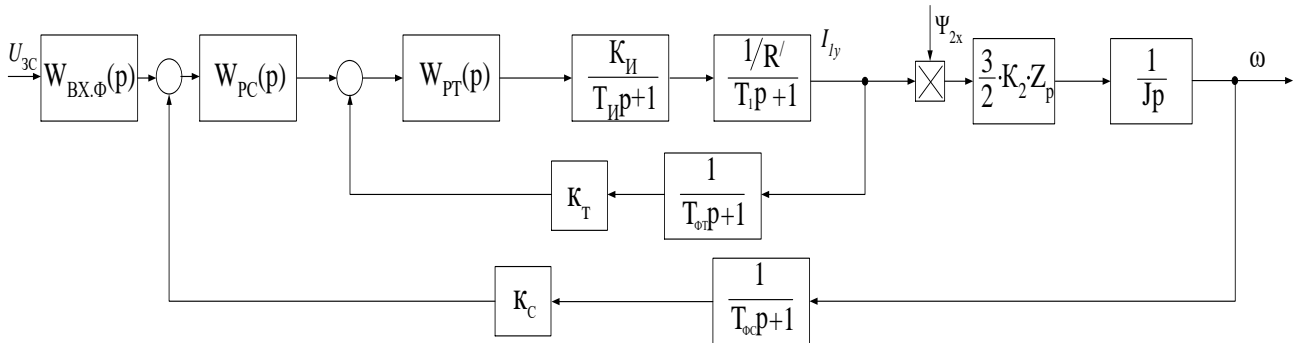


Рисунок 34 – Структурная схема контура скорости

Оптимизация контура тока выполняется аналогично.

Оптимизация контура скорости:

Для исследования были использованы имитационные модели для следящих электроприводов, разработанные на кафедре электропривода ТПУ.

Контур скорости настроен на симметричный оптимум, ПИ – регулятор с передаточной функцией подобрана с учетом параметров данного контура.

$$W_{pc}(p) = k_{pc} \frac{T_{pc} \cdot p + 1}{T_{pc} \cdot p}, \text{ где } k_{pc} - \text{коэффициент усиления регулятора.}$$

$a_c = 2$ – коэффициент оптимизации контура скорости по МО;

$$T_{\mu c} = a_T \cdot T_{\mu T} + T_{\Phi C} = 2 \cdot 0.0003958 + 0.0003333 = 0.001125 \text{ с} \quad - \quad \text{малая}$$

постоянная времени контура скорости.

$$k_c = \frac{U_{3c \text{ макс}}}{\omega_{\text{макс}}} = \frac{10}{837.696} = 0.01194 \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}} - \text{коэффициент обратной связи по}$$

скорости;

$$U_{3c \text{ макс}} = 10 \text{ В.}$$

$$T_{pc} = e_c \cdot a_c \cdot T_{\mu c} = 2 \cdot 2 \cdot 0.001125 = 0.0045 \text{ с - постоянная времени}$$

регулятора скорости;

$$K_{pc} = \frac{K_T \cdot J_{\Sigma II}}{\frac{3}{2} \cdot K_2 \cdot Z_P \cdot K_C \cdot \Psi_{2x} \cdot 2 \cdot T_{\mu c}} = \frac{0.962 \cdot 0.00456}{\frac{3}{2} \cdot 0.97 \cdot 2 \cdot 0.01194 \cdot 0.611 \cdot 2 \cdot 0.001125} = 91.829$$

- коэффициент усиления регулятора скорости;

$$W_{\text{вх.ф}}(p) = \frac{1}{(4 \cdot T_{\mu c} + T_{\Phi C}) \cdot p + 1} = \frac{1}{0.0048333 \cdot p + 1} \text{ - передаточная функция}$$

фильтра на входе контура;

$$T_{\Phi C} = 0.0003333 \text{ с - постоянная времени фильтра в обратной связи контура.}$$

Ожидаемые показатели работы замкнутого контура скорости, настроенного на СО

$$\sigma = 6.2 \% \text{ - перерегулирование;}$$

$$t_{\text{пу1}}^{(5)} = 13.6 \cdot T_{\mu t} = 13.6 \cdot 0.000396 = 0.0053833 \text{ с - время первого согласования;}$$

$$\omega_{\Pi}^{(M)} = \frac{0.284}{T_{\mu t}} = \frac{0.284}{0.0053833} = 717.474 \frac{\text{рад}}{\text{с}} \text{ - полоса пропускания по модулю;}$$

$$\omega_{\Pi}^{(\Phi)} = \frac{0.18}{T_{\mu t}} = \frac{0.18}{0.000396} = 454.737 \frac{\text{рад}}{\text{с}} \text{ - полоса пропускания по фазе.}$$

Имитационная модель, собранная по структурной схеме контура скорости, изображена на рисунке 35.

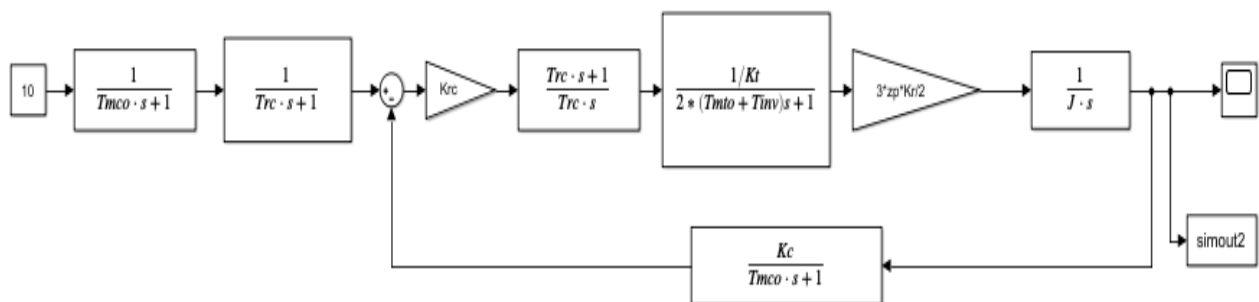


Рисунок 35 – Имитационная модель контура скорости

На рисунке 36 изображены результаты моделирования переходных процессов по контуру скорости, настроенного на симметричный оптимум, при

воздействии ступенчатого входного сигнала $U_{zc} = 0.1 \text{ В}$ в виде переходной характеристики $\omega(t)$.

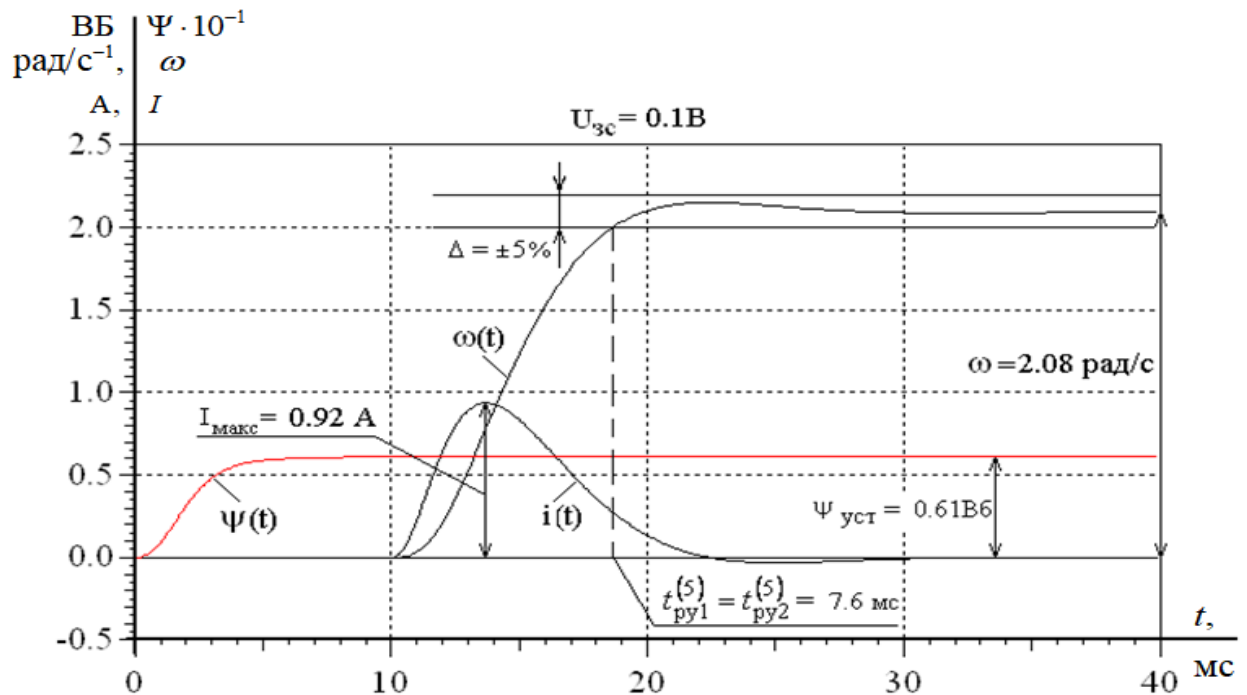


Рисунок 36 – Переходные характеристики $I(t)$, $\omega(t)$ и $\Psi(t)$

контура скорости

Отличие экспериментальных показателей качества переходных процессов от ожидаемых объясняется наличием малой постоянной времени не только в прямом, но и в обратном канале контура.

6 Исследование нелинейной САУ РЭП

6.1 Анализ влияния основных нелинейностей САУ РЭП на качество регулирования

Основными нелинейностями характеристик элементов САУ РЭП являются:

- Ограничение сигнала регулятора скорости;
- Ограничение сигнала регулятора тока;
- Ограничение сигнала регулятора потокосцепления;

Далее, влияние внутренних обратных связей по ЭДС двигателя скомпенсировано, для удобства в моделировании. Графики переходных процессов нелинейной САУ РЭП представлены на рисунке 37.

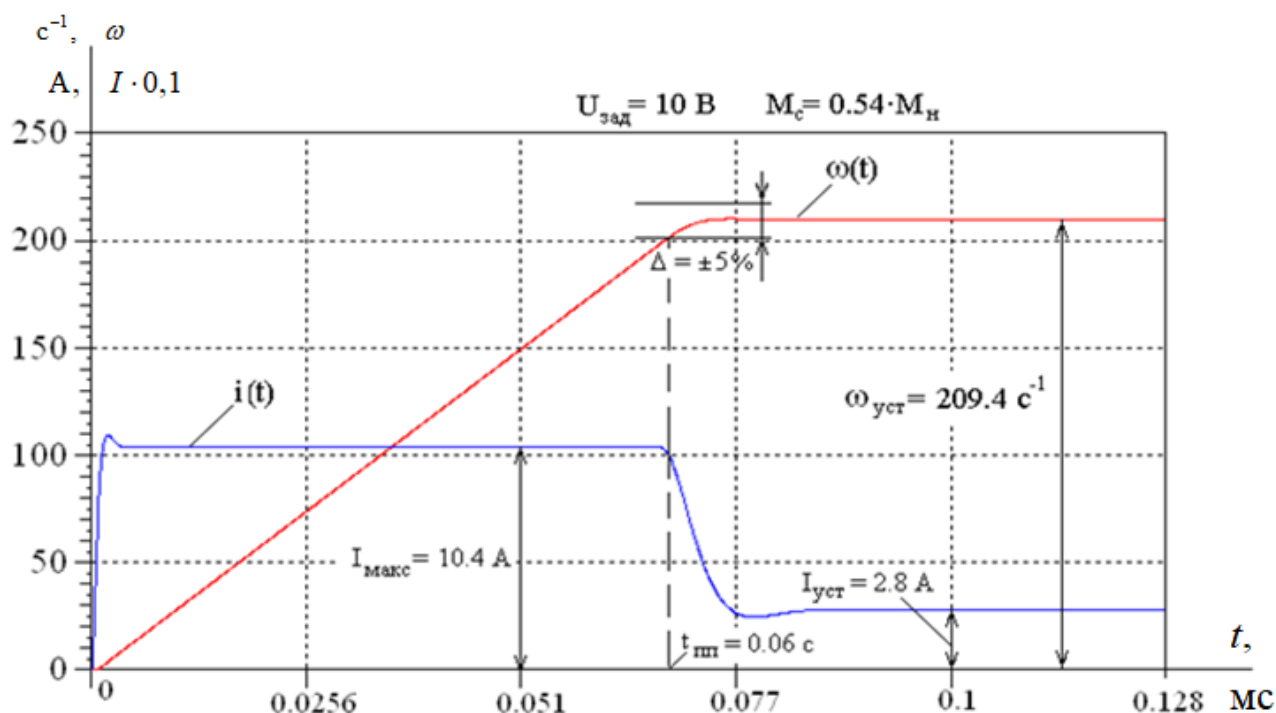


Рисунок 37 - Переходный процесс скорости $\omega(t)$ и тока $i(t)$ нелинейной САУ РЭП

Сделав анализ переходных процессов, изображенных на рисунке 37, можно прийти к выводу, что при воздействии насыщения регуляторов, кратковременный ток преобразователя ограничивается значением, равным, $I_{\text{макс}} = 10.4 \text{ В}$. Данная величина соответствует допустимому значению тока преобразователя. По сравнению с линейной системой, переходный процесс по скорости более затянут, но с меньшим значением перерегулирования. При нагрузке $M_c = 0.54 \cdot M_H = 0.54 \cdot 7.163 = 3.868 \text{ Н} \cdot \text{м}$, установившийся ток $I_{\text{уст}} = 2.8 \text{ А}$.

6.2 Разработка функциональной схемы регулируемого электропривода

Наиболее легкий способ реализации векторной системы управления, осуществляется за счет использования систем с регуляторами во вращающейся системе координат. Что бы применить данную систему, необходимо ввести

дополнительные блоки для преобразования координат из неподвижной системы a, j_b во вращающуюся систему координат x, j_u (обратное преобразование) и наоборот, из вращающейся системы в неподвижную (прямое преобразование).

На рисунке 42 изображена функциональная схема векторной системы управления для асинхронного двигателя с ориентацией по полю с регуляторами. Регуляторы представлены во вращающейся системе координат.

Обозначения на функциональной схеме приведены ниже:

- М – асинхронный двигатель;
- АИН – автономный инвертор напряжения;
- Ф – фильтр подавления помех.

Данный фильтр подавляет возмущения входных сигналов и их пульсации, фильтр сглаживает аналоговые входы при помощи усреднения значений, согласно с таблицей №10.

Таблица №10 - таблица усреднения

Параметр уставки	Функция, которая определяет количество значений, при помощи чего производится усреднение	Время корректировок и
0	Без усреднения	128 мкс
1	2	256 мкс
2	4	512 мкс
3	8	1 мс
4	16	2 мс
5	32	4 мс
6	64	8 мс
7	128	16 мс
8	256	32 мс
9	512	64 мс
10	1024	128 мс

- АЦП - аналого-цифровой преобразователь, состоящий из двух десяти разрядных преобразователей, время преобразования 10 мкс;
- ВQ - импульсный датчик положения;

- БРС - блок расчёта скорости. Время, за которое происходит обсчёт сигнала датчика равно 0.5 – 16 мкс, при условии использования импульсного датчика положения (количество импульсов 2500) Данное время соответствует таблице №11.

Таблица №11

Значение параметра	Период дискретизации	Разрешающая способность по скорости, об/мин
0	0.5	12
1	1	6
2	2	3
3	4	1.5
4	8	0.75
5	16	0.375

- БРСК — расчётный блок, он рассчитывает скорость вращения вектора потокосцепления ω_k при косвенной ориентации по полю:

$$\omega_k = \omega \cdot z_p + \frac{I_{1y}}{I_{1x}} \cdot \frac{R_2}{L_2};$$

- БРП – блок для расчёта потокосцепления ψ_{2x} ;
- БУП – блок для углового преобразования, он рассчитывает угловое положение вектора потокосцепления;

$$\theta = \int_0^t \omega_k \cdot dt, \text{ где } \omega_k - \text{ скорость вращения вектора потокосцепления;}$$

- БК - блок компенсации ЭДС двигателя;
- БРЗП — блок расчёта задания магнитного потока, он создает $U_{з\psi}$, который зависит от размера заданной скорости;
- РС — регулятор скорости (ПИ-регулятор);
- Р ψ — регулятор потокосцепления;
- РТ_х - регулятор тока в контуре намагничивания (ПИ-регулятор);
- РТ_у— регулятор тока (ПИ-регулятор).

В данной схеме содержатся блоки, которые производят координатные преобразования:

- А, В, С-а, b – данный преобразователь координат, создает составляющие токи статора I_{1a} , I_{1b} эквивалентной двухфазной машины в неподвижной системе координат а, jб:

$$I_{1a} = I_{1A}; I_{1b} = \frac{I_{1B} - I_{1C}}{\sqrt{3}}, \text{ где } I_{1B} = -I_{1A} - I_{1C};$$

- а, b-х, у - преобразователи координат, которые обеспечивают обратное преобразование для токов I_{1a} , I_{1b} для неподвижной системы координат а, jб и во вращающуюся системах координат х, jу:

$$I_{1x} = I_{1a} \cdot \cos \theta + I_{1b} \cdot \sin \theta;$$

$$I_{1y} = -I_{1a} \cdot \sin \theta + I_{1b} \cdot \cos \theta.$$

Данные сигналы представляют собой сигналы, для обратных связей регуляторов тока РТ_х и РТ_у.

- х, у-а, b – преобразователь координат, который обеспечивает прямое преобразование координат.

На рисунке 38 представлена структурная схема прямого преобразователя координат.

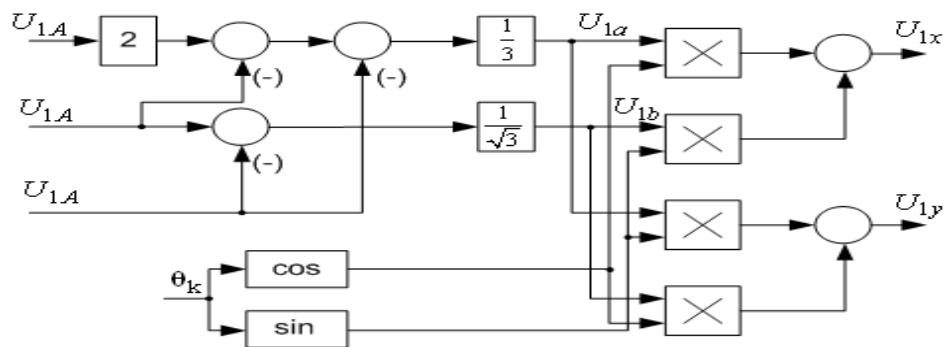


Рисунок 38 - Структурная схема прямого преобразователя координат

Представленными ниже уравнениями, описан прямой преобразователь координат:

$$U_{1a} = \frac{1}{3}(2U_{1A} - U_{1B} - U_{1C});$$

$$U_{1b} = \frac{1}{3}(U_{1B} - U_{1C}).$$

U_{1a}, U_{1b} - напряжения в неподвижной системе координат.

$$U_{1a} = U_{1x} \cdot \cos \theta_k - U_{1y} \cdot \sin \theta_k;$$

$$U_{1b} = U_{1x} \cdot \sin \theta_k + U_{1y} \cdot \cos \theta_k.$$

U_{1x}, U_{1y} - напряжения, представленные во вращающейся системе координат, θ_k - угол поворота координатной системы.

На рисунке 39 изображен обратный преобразователь координат.

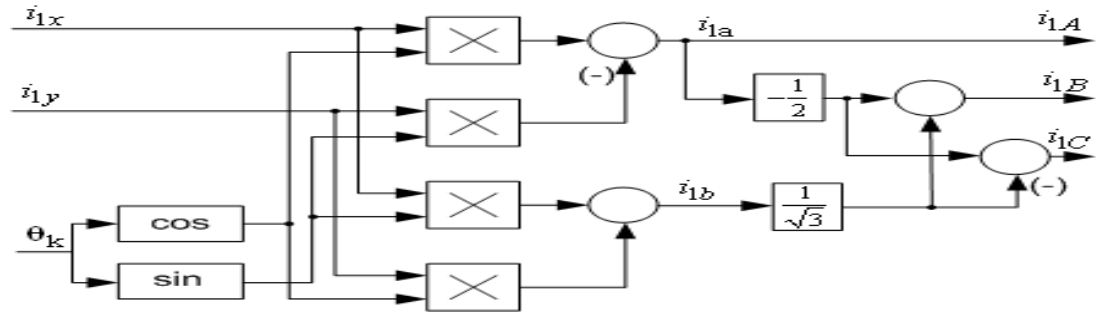


Рисунок 39 - Структурная схема обратного преобразователя координат

Обратный преобразователь координат описывается уравнениями

$$i_{1a} = i_{1x} \cdot \cos \theta_k - i_{1y} \cdot \sin \theta_k;$$

$$i_{1b} = i_{1x} \cdot \sin \theta_k + i_{1y} \cdot \cos \theta_k$$

i_{1a}, i_{1b} - токи, представленные в неподвижной «двухфазной» системе координат.

$$i_{1A} = i_{1a};$$

$$i_{1B} = -\frac{1}{2}i_{1a} + \frac{\sqrt{3}}{2}i_{1b};$$

$$i_{1C} = -\frac{1}{2}i_{1a} - \frac{\sqrt{3}}{2}i_{1b}.$$

i_{1A}, i_{1B}, i_{1C} - токи в трехфазной системе координат.

- а, b-A, B, C - преобразователь координат, формирующий напряжения управления:

$$U_{yA} = U_{ya}; U_{yB} = -\frac{U_{ya}}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot U_{yb}; U_{yC} = -\frac{U_{ya}}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot U_{yb}.$$

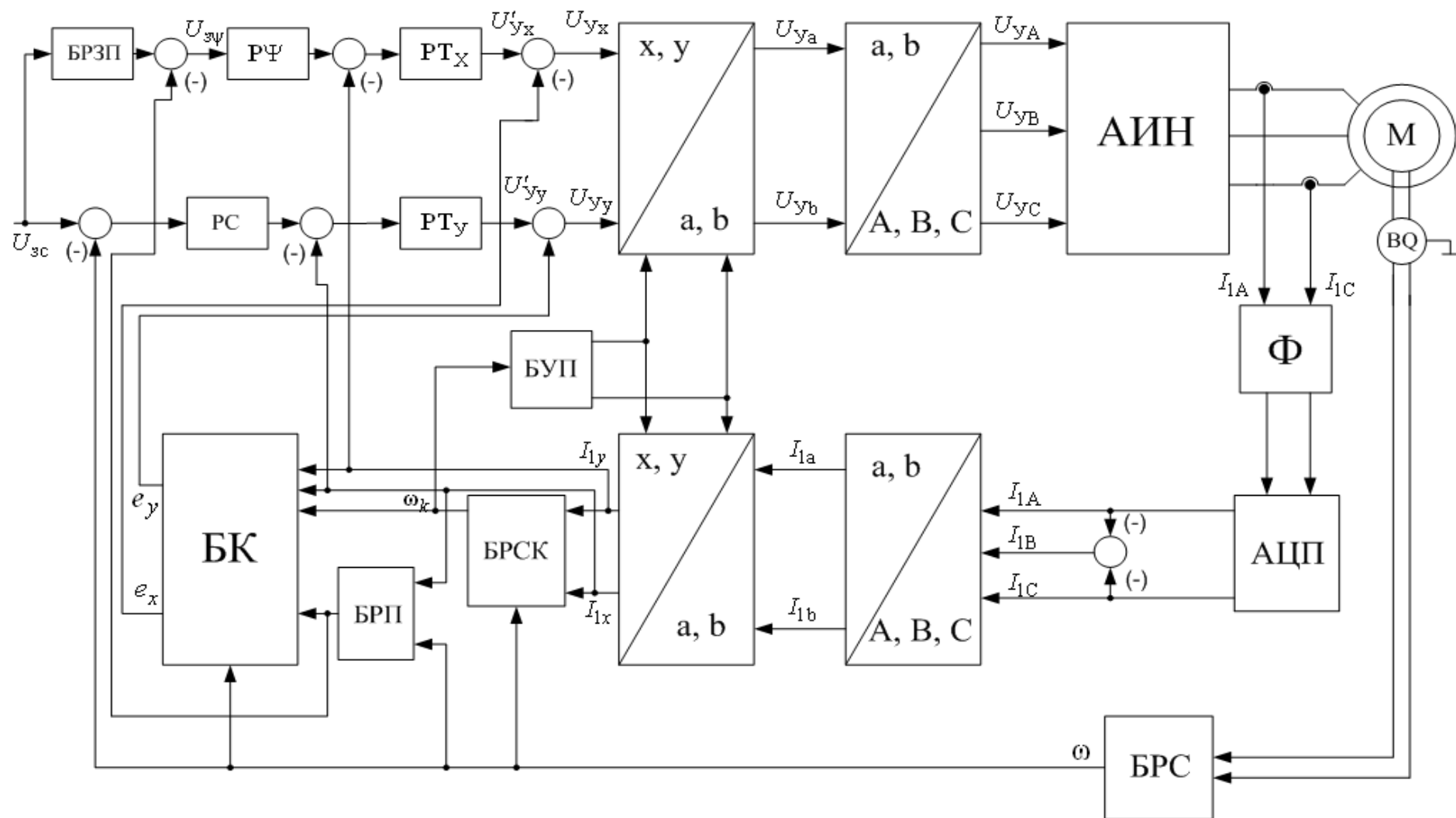


Рисунок 40 - Функциональная схема РЭП

6.3 Разработка контура положения

6.3.1 Оптимизация контура положения

Электропривод запорной арматуры - это сложная структура автоматического регулирования, состоящая из множества контуров, замкнутых по положению.

Структурная схема контура положения представлена на рисунке 42.

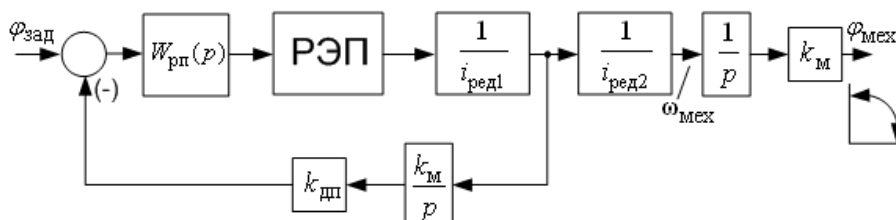


Рисунок 42 - Структурная схема контура положения

Схема состоит из электропривода РЭП, датчика положения с коэффициентом усиления $k_{дп}$, установленным на механизме с соотношением передаточных чисел $i_{ред1} = 650, i_{ред2} = 4$ и регулятор положения с передаточной функцией $W_{рп}(p)$.

Оптимизируем структурную схему контура положения (рисунок 43), представляя к стандартному виду.

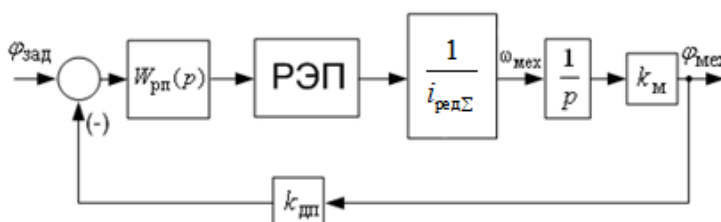


Рисунок 43 - Оптимизированная структурная схема контура положения

где $i_{редΣ} = \sum i_{ред1} + i_{ред2} = 650 + 4 = 654$ - суммарное соотношение передаточных чисел

При оптимизации контура положения внутренний оптимизированный контур скорости представим апериодическим звеном первого порядка с периодической функцией:

$$W_{рп}(p) = \frac{1/k_c}{T_{\mu}p + 1}.$$

Таким образом, контур положения содержит инерционное звено первого порядка с малой постоянной времени T_{μ} , пропорциональные звенья и

интегрирующее звено. Для обеспечения астатизма второго порядка (нулевой скоростной ошибки) настройку осуществляем на симметричный оптимум, с учётом параметров контура выбираем ПИ-регулятор положения с передаточной функцией:

$$W_{\text{рп}}(p) = k_{\text{рп}} \cdot \frac{T_{\text{рп}}p + 1}{T_{\text{рп}}p},$$

где $k_{\text{рп}} = \frac{k_c}{k_m \cdot k_{\text{п}} \cdot k_{\text{пр}} \cdot a_n \cdot T_{\text{мп}}}$ - коэффициент усиления регулятора

положения; $T_{\text{мп}} = b_c \cdot a_c \cdot a_t \cdot T_{\text{мт}} = 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 0.0003958 = 0.0045$ с - малая постоянная времени контура;

$k_{\text{п}} = 1$ - коэффициент обратной связи контура по положению;

$a_{\text{п}} = 2$ - коэффициент оптимизации контура положения на СО;

$$T_{\text{рп}} = 4 \cdot T_{\text{мп}} = 4 \cdot 0.0045 = 0.018 \text{ с};$$

$$k_{\text{рп}} = \frac{k_c}{k_m \cdot k_{\text{п}} \cdot k_{\text{пр}} \cdot a_n \cdot T_{\text{мп}}} = \frac{0.048}{3437.7 \cdot 1 \cdot 1.851852 \cdot 2 \cdot 0.0045} = 2.166.$$

Упрощенная передаточная функция контура положения при его настройке на симметричный оптимум имеет вид:

$$W_{\text{праз}}(p) = \frac{4 \cdot T_{\text{мп}}p + 1}{8 \cdot T_{\text{мп}}^2 p^2 \cdot (T_{\text{мп}}p + 1)} - \text{представлена передаточная функция}$$

разомкнутого контура положения;

$$W_{\text{пзам}}(p) = \frac{4 \cdot T_{\text{мп}}p + 1}{8 \cdot T_{\text{мп}}^3 p^3 + 8 \cdot T_{\text{мп}}^2 p^2 + 4 \cdot T_{\text{мп}}p + 1} - \text{представлена передаточная}$$

функция замкнутого контура положения;

Исследования на имитационной модели и окончательный подбор коэффициентов САУ СЭП проведем для 2-х настроек контура положения, а именно с П и Пи регуляторами.

На рисунке 43 изображена структурная схема САУ следящего электропривода. Имитационная модель, соответствующая структурной схеме, приведена на рисунке 44.

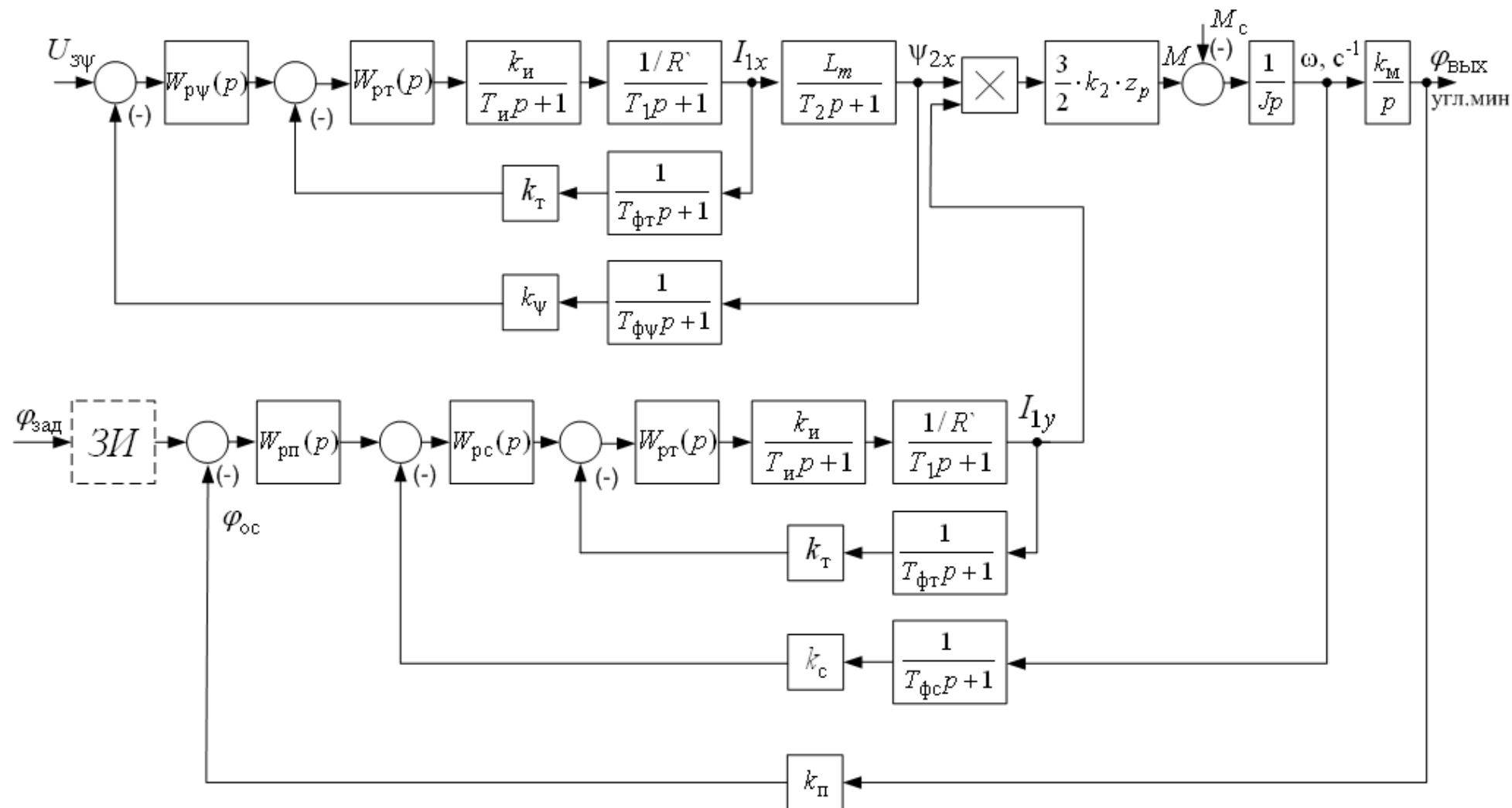


Рисунок 44 - Структурная схема системы автоматического управления следящего электропривода

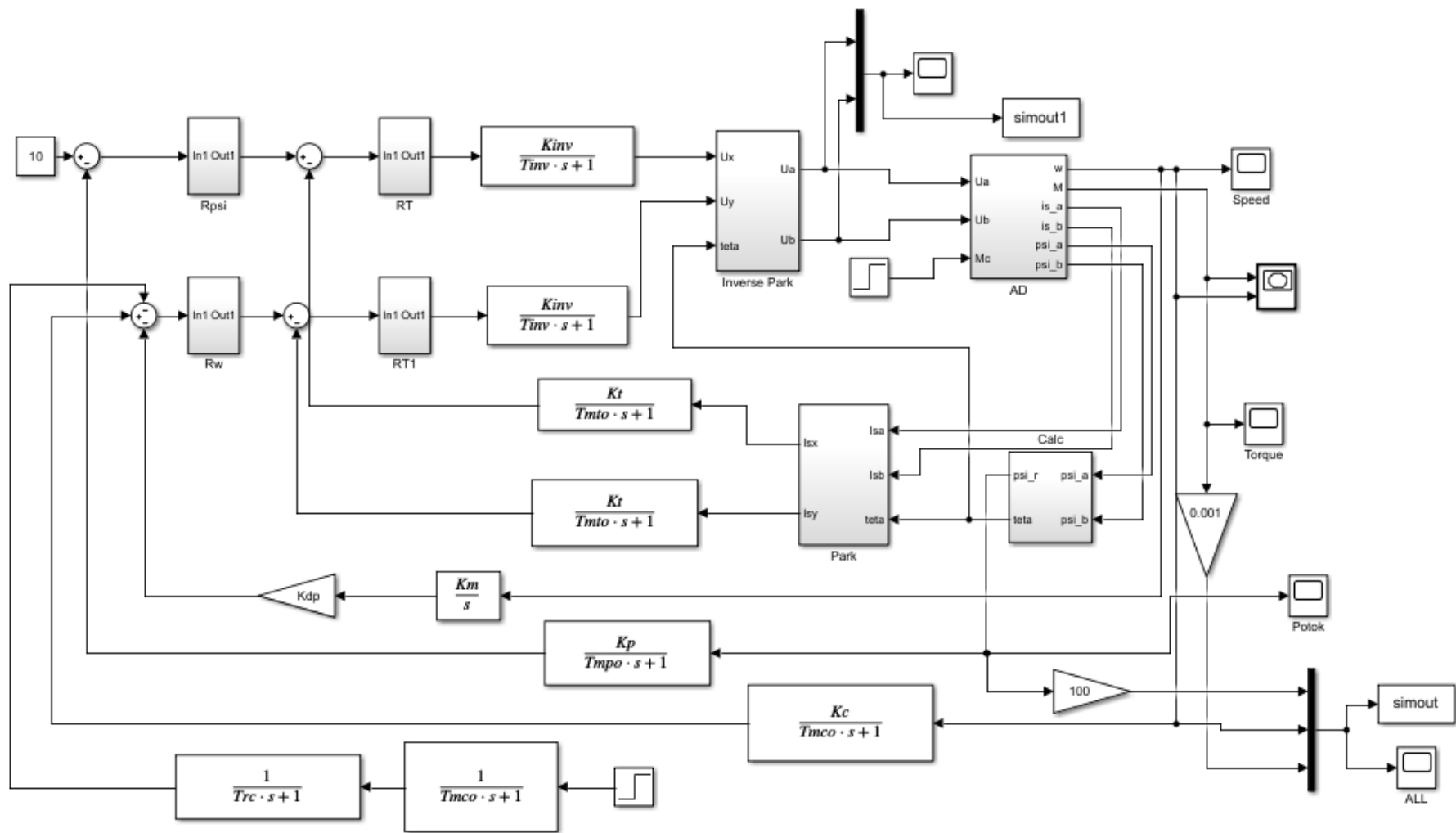


Рисунок 45 - Имитационная модель САУ следящего электропривода

Все графики переходных процессов сняты при установившемся потокоцеплении двигателя, график изменения во времени которого представлен на рисунке 46. С целью упрощения и наглядности, в дальнейших графиках $\psi(t)$ не приводится.

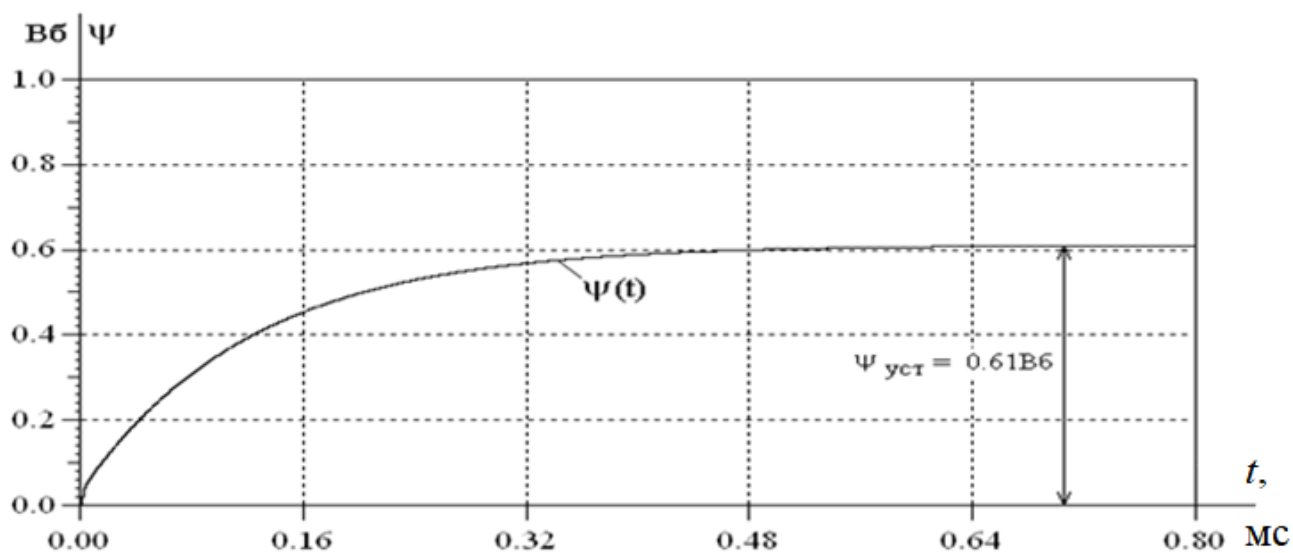


Рисунок 46 - Изменение потокоцепления двигателя во времени

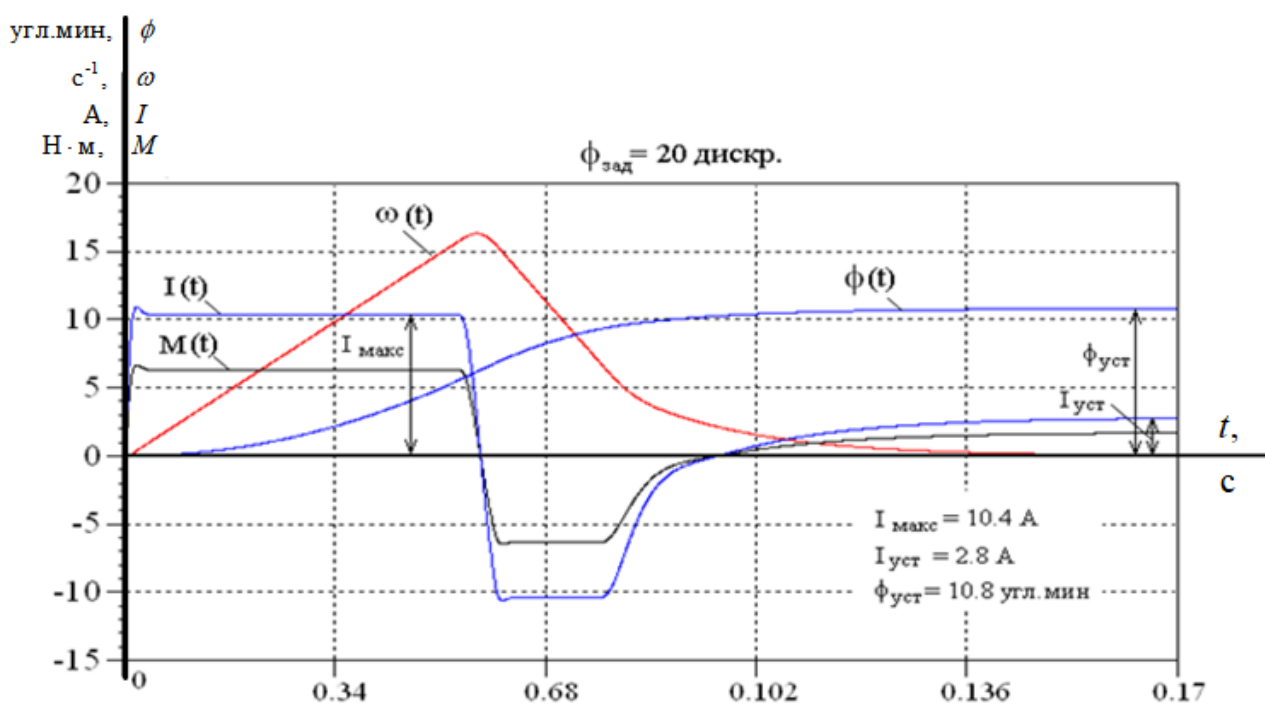


Рисунок 47 - Переходные процессы тока $i(t)$, момента $M(t)$, скорости вращения вала $\omega(t)$ и угла $\phi(t)$ при отработке угла задания $\phi_{\text{зад}} = 20$ дискр.

Как видно из рисунка 47, при угле задания $\phi_{\text{зад}} = 20$ дискр. угол ϕ достигает значения $\phi_{\text{уст}} = 10.8$ угл.мин (коэффициент обратной связи $k_{\text{п}} = 1.85$), ток ограничивается на допустимом для данного преобразователя уровне 10.4 А.

При угле задания 100 дискр. графики переходных процессов представлены на рисунке 48.

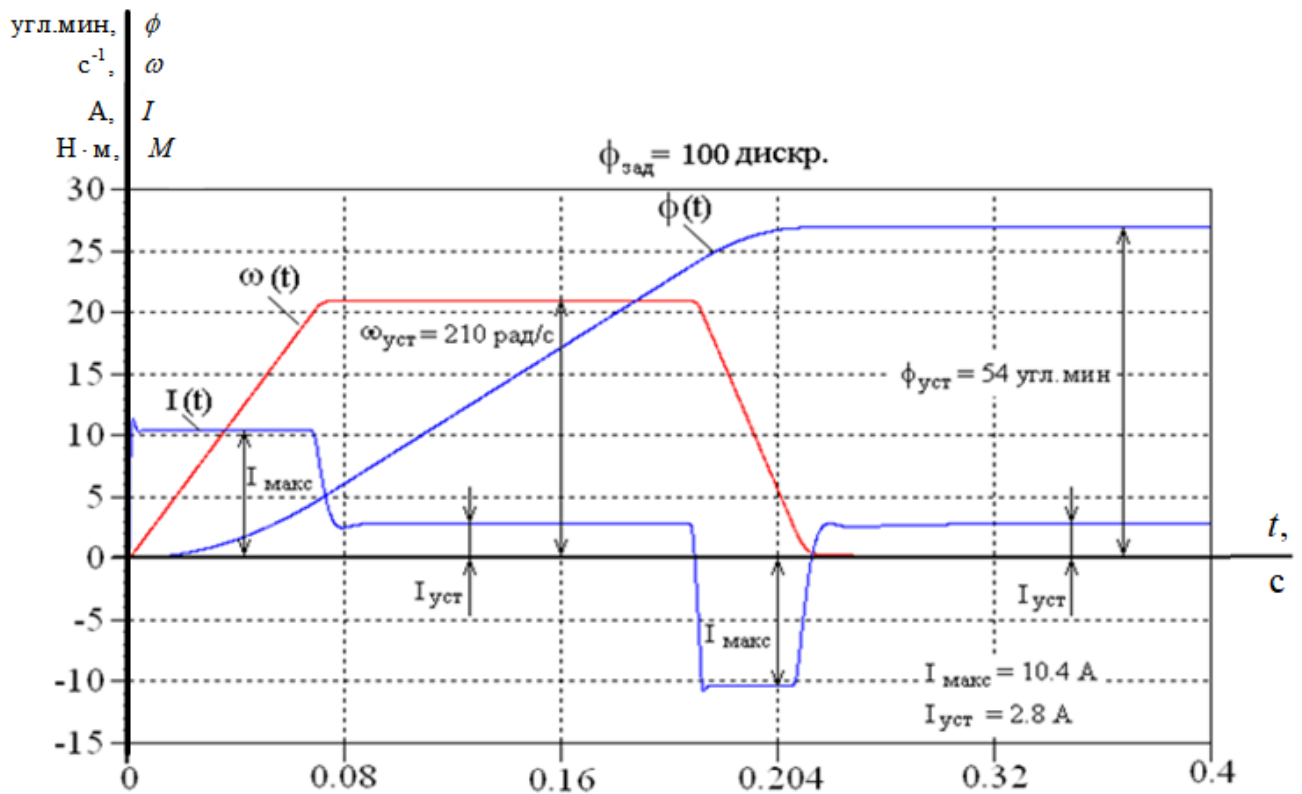


Рисунок 48 - Переходные процессы тока $i(t)$, момента $M(t)$, скорости вращения вала $\omega(t)$ и угла $\phi(t)$ при отработке угла задания $\phi_{\text{зад}} = 100$ дискр.

При $\phi_{\text{зад}} = 100$ угл.мин ПЧ ограничивает максимальный ток на допустимом уровне 10.4 А, а скорость вращения вала для достижения угла, соответствующему заданию, достигает установившегося значения в 210 рад/с, после отработки которого, с приближением разницы величин на входе и обратной связи к нулю, привод, достигнув $\phi_{\text{зад}}/k_{\text{п}}$, останавливается.

Для уменьшения рывка скорости необходимо применить задатчик с S-образной характеристикой.

6.3.2 Определение параметров задатчика интенсивности контура положения

Задаемся кривой разгона S – образной характеристики, вид которой приведен на рисунке 49.

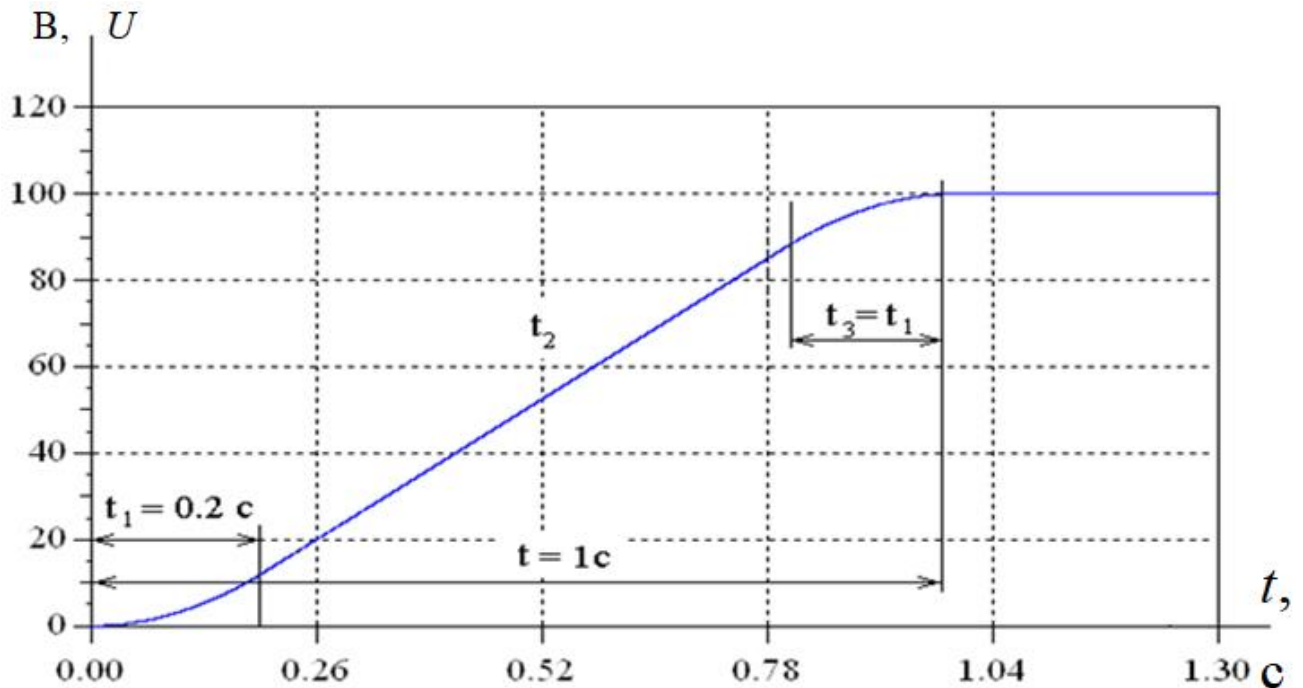


Рисунок 49 - S – образная характеристика задания

Принимаем максимальное задание равным $X_{з.макс} = 100$ ед.

На основании имитационных экспериментов принимаем $t_1 = t_3 = 0.2$ с, $t_2 = 0.6$ с.

Максимальная скорость нарастания сигнала

$$\left(\frac{dX_3}{dt} \right)_{\text{макс}} = \frac{X_{з.макс}}{t_1 + t_2} = \frac{100}{0.2 + 0.6} = 125 \text{ ед/с.}$$

Максимальное ускорение

$$\left(\frac{d^2 X_3}{dt^2} \right)_{\text{макс}} = \frac{\left(\frac{dX_3}{dt} \right)_{\text{макс}}}{t_1} = \frac{125}{0.2} = 625 \text{ ед/с}^2.$$

$$X'_3 = \frac{\left(\frac{dX_3}{dt} \right)_{\text{макс}}}{2} \cdot t_1 = \frac{125}{2} \cdot 0.2 = 12.5 \text{ ед.};$$

$$X_3'' = X_3' + \left(\frac{dX_3}{dt} \right)_{\text{макс}} \cdot t_2 = 12.5 + 125 \cdot 0.6 = 87.5 \text{ ед.}$$

Таблица 12 - Параметры S – образной характеристики

$t_1, \text{с}$	$t_2, \text{с}$	$t_3, \text{с}$	$X_{3.\text{макс}}, \text{ед.}$	$X_3', \text{ед.}$	$X_3'', \text{ед.}$
0.2	0.6	0.2	100	12.5	87.5

Структурная схема модели задатчика интенсивности с S – образной характеристики приведена на рисунке 50, имитационная модель в программе Matlab Simylink показана на рисунке 51.

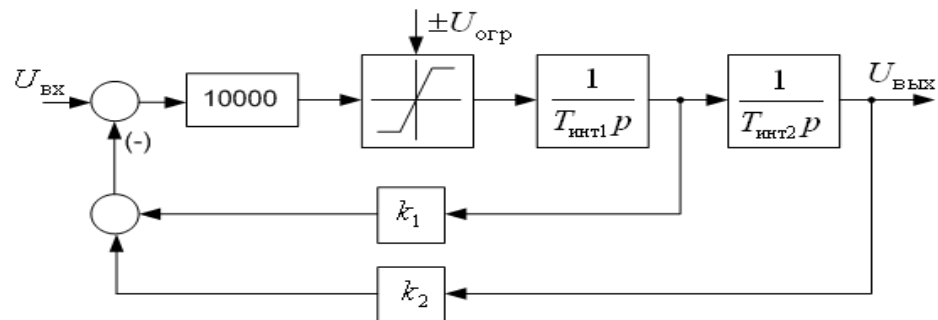


Рисунок 50 - Структурная схема задатчика интенсивности с S – образной характеристикой задания

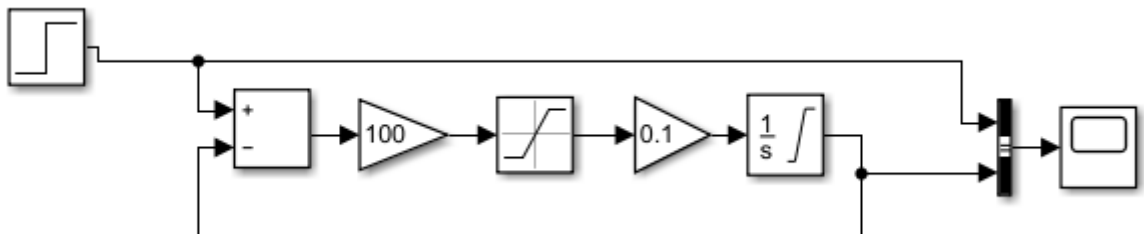


Рисунок 51 - Имитационная модель задатчика интенсивности

Параметры имитационной модели задатчика интенсивности

$$U_{\text{огр}} = \left(\frac{d^2 X_3}{dt^2} \right)_{\text{макс}} = 625; U_{\text{инт.макс}} = \left(\frac{dX_3}{dt} \right)_{\text{макс}} = 125 \text{ В};$$

$$k_1 = \frac{X_{3.\text{макс}} - X_3''}{\left(\frac{dX_3}{dt} \right)_{\text{макс}}} = \frac{100 - 87.5}{125} = 0.1; k_2 = 1.$$

$$T_{\text{инт1}} = t_1 \cdot \frac{\left(\frac{d^2 X_3}{dt^2} \right)_{\text{макс}}}{\left(\frac{dX_3}{dt} \right)_{\text{макс}}} = 0.2 \cdot \frac{625}{125} = 1 \text{ с};$$

$$T_{\text{инт2}} = t_2 \cdot \frac{\left(\frac{dX_3}{dt} \right)_{\text{макс}}}{X_3'' - X_3'} = 0.6 \cdot \frac{125}{87.5 - 12.5} = 1 \text{ с}.$$

6.3.3 Контур положения с задатчиком интенсивности

В данном разделе произведено исследование САУ РЭП, по имитационной модели в программной среде Matlab Simulink R2017a, данная модель приведена на рисунке 52.

Произведя исследование данной имитационной модели, приведенной на рисунке 52, получим следующие переходные процессы (рисунок 53).

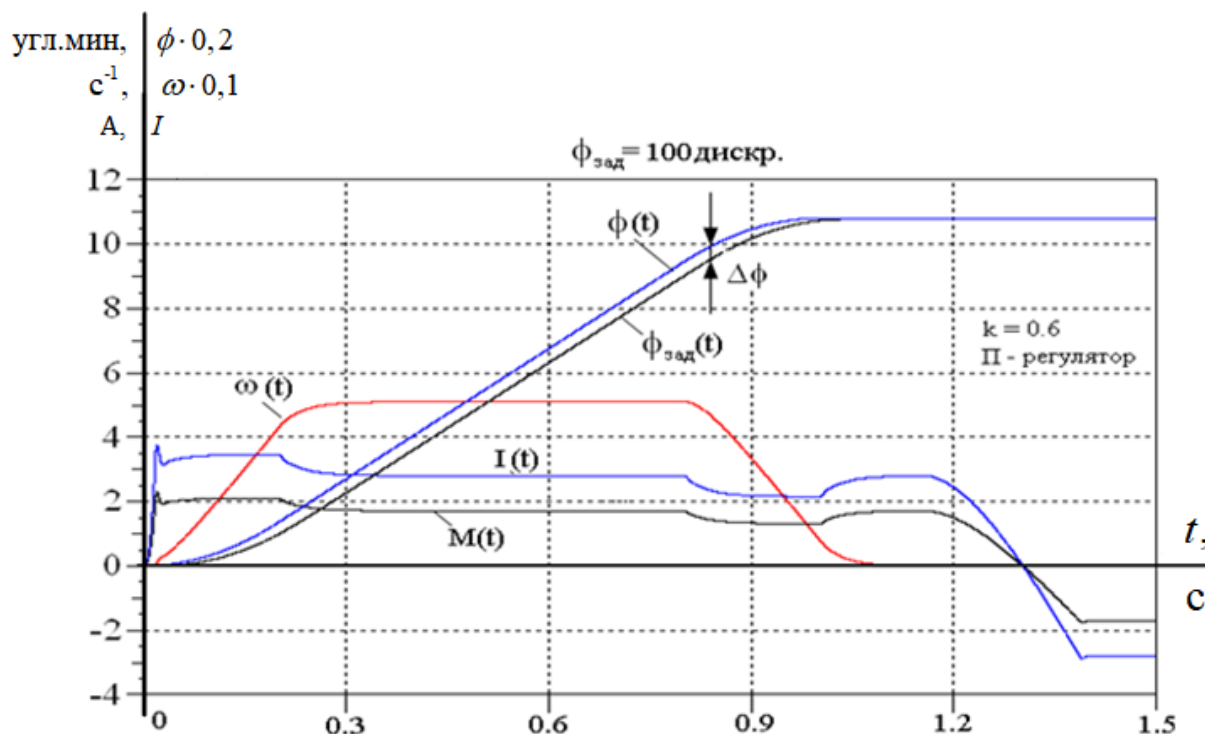


Рисунок 53 - Переходные процессы САУ РЭП с П – регулятором ($k = 0.6$) и $\phi_{зад} = 100$ дискр.

Как видно из рисунка 53, существует ошибка $\Delta\phi$ положения вала на протяжении 1 с, выраженная разницей сигналов задания и положения на механизме. Эта ошибка приводит к отставанию выходной координаты от входной и является нежелательной.

Для устранения в динамике отклонения $\Delta\phi$ величины угла, изменим настройку регулятора положения путем увеличения коэффициента усиления. Соответствующий этому изменению переходный процесс представлен на рисунке 54.

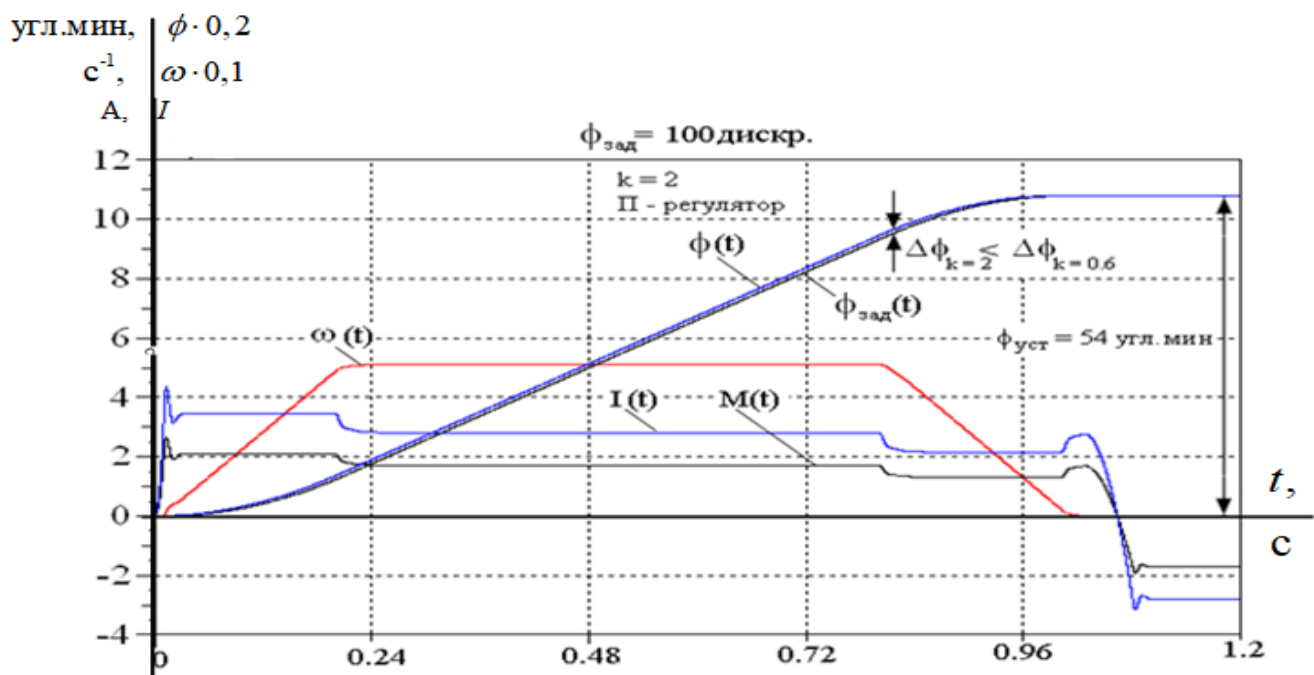


Рисунок 54 - Переходные процессы САУ РЭП с П – регулятором ($k = 2$) и $\phi_{\text{зад}} = 100$ дискр.

При увеличении коэффициента усиления регулятора положения, ошибка $\Delta\phi$ стала существенно меньше, однако, не исключена полностью.

Введем интегральную составляющую регулятора при том же задании $\phi_{\text{зад}} = 100$ дискр. Изменения в переходных процессах при различных коэффициентах, показанных на рисунках 55 и 56.

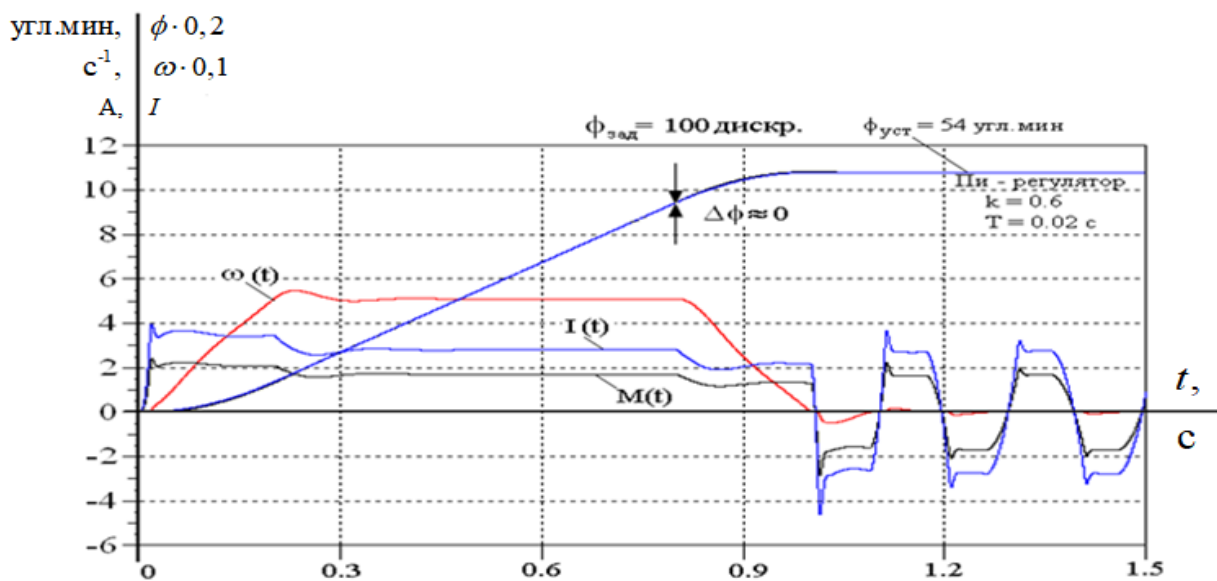


Рисунок 56 - Переходные процессы САУ РЭП с ПИ – регулятором ($k = 0.6$, $T = 0.02$ с) и $\phi_{\text{зад}} = 100$ дискр.

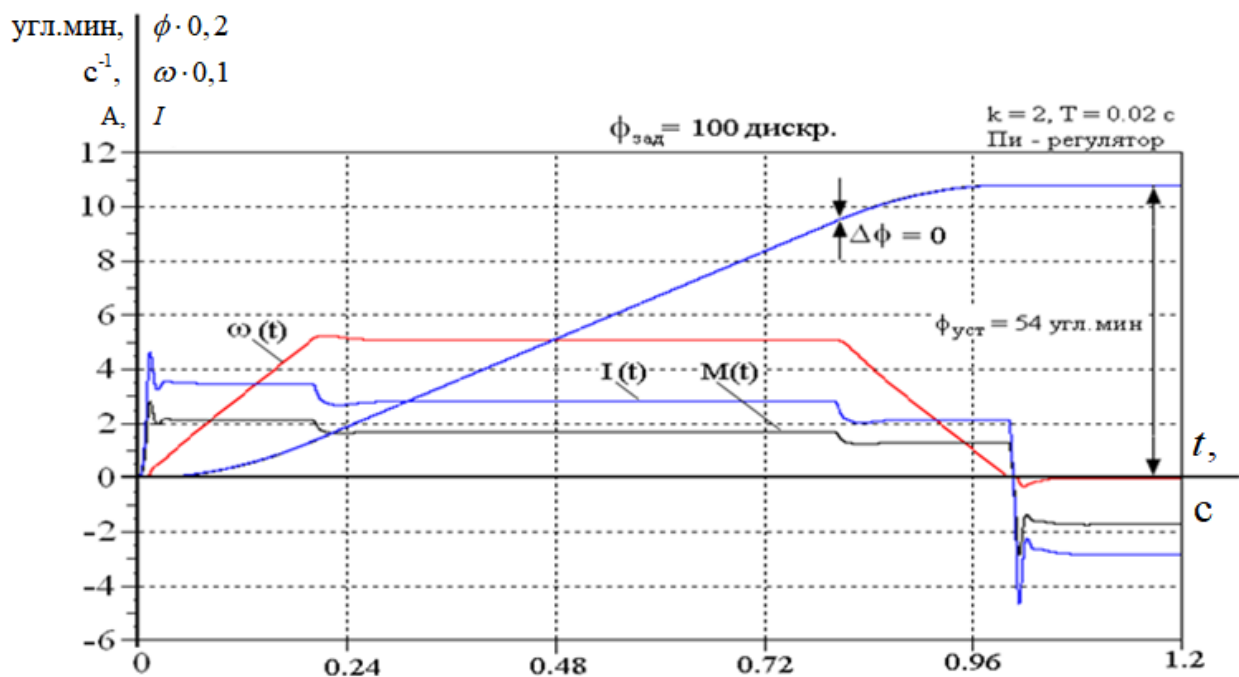


Рисунок 57 - Переходные процессы САУ СЭП с ПИ – регулятором ($k = 2$, $T = 0.02$ с) и $\phi_{зад} = 100$ дискр.

Введение интегральной составляющей регулятора положения при коэффициенте усиления $k = 0.6$ исключает ошибку $\Delta\phi$, но приводит к длительному колебательному процессу относительно нулевой оси, что является недопустимым фактом в технологической цепи. Для окончательного устранения ошибки $\Delta\phi$ и колебательных процессов, принимаем коэффициент усиления ПИ - регулятора положения равным 2, а постоянную времени равную 0.02 с. Соответствующий данным параметрам переходный процесс приведен на рисунке 58.

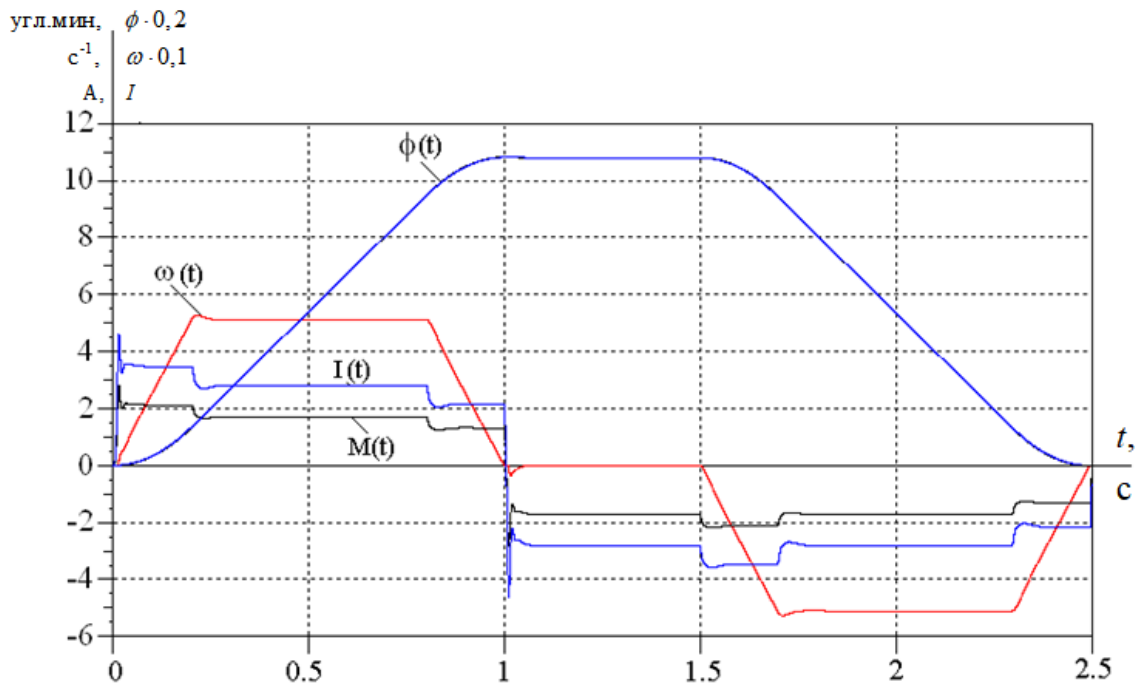


Рисунок 58 - Переходные процессы САУ СЭП с ПИ – регулятором ($k = 2$, $T = 0.02$ с) и $\phi_{\text{зад}} = 100$ дискр.

Можно сделать вывод, что для устранения ошибки $\Delta\phi$ и колебательности переходных процессов идеально подходят коэффициент усиления ПИ - регулятора положения равный 2, а постоянная времени равная 0.02 с, так как они максимально снижают ошибку $\Delta\phi$ и колебательность переходных процессов.

7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В настоящее время перспективность проектирования для нефтегазовой отрасли определяется коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения исследования рынка, разработки технологии и коммерциализации его результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований.

Таким образом, целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения. Задачами раздела являются:

- оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ;
- разработка устава научно-технического проекта; планирование процесса управления НТИ;
- структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок;
- определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности.

Объектом исследования является электропривод запорной арматуры на базе асинхронного двигателя с преобразователем частоты. Областью применения разработки является нефтегазовая промышленность.

7.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Что бы провести анализ потребителей результатов данного исследования, необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка. В свою очередь, **сегмент рынка** – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками.

Электропривод запорной арматуры имеет широкое применение в различных видах промышленности, основной вид, где применяется данная разработка, это нефтяная промышленность. Запорная арматура с электрическим приводом применяется для регулирования давления на приеме и на выходе нефтепроводов из НПС или МНС методом дросселирования потока на выходе.

Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга).

Основные сегменты рынка:

- ООО «РН-Ванкор» — дочернее общество ПАО «НК «Роснефть» — является оператором по освоению месторождений Ванкорского кластера расположенного на севере Восточной Сибири — в Туруханском районе и Таймырском Долгано-Ненецком муниципальном районе Красноярского края.
- ПАО «Газпром» — глобальная энергетическая компания. Основные направления деятельности — геологоразведка, добыча, транспортировка, хранение, переработка и реализация газа, газового конденсата и нефти, реализация газа в качестве моторного топлива, а также производство и сбыт тепло- и электроэнергии.
- АК «Транснефть» - основной вид деятельности: транспортировка нефти и нефтепродуктов по системе магистральных нефтепроводов (перекачка, перевалка и налив) на территории России, а также на экспорт в страны ближнего и дальнего зарубежья.

Основными сегментами, на которые необходимо ориентироваться это предприятия, представленные выше, но, так же необходимо не упускать возможность сотрудничества с более мелкими компаниями в тех же отраслях, на пример Томская компания:

ООО «Научно-производственное предприятие ЭТН Циклон» представлено на рынке с 2006 года. Основными задачами предприятия являются разработка, проектирование, изготовление, монтаж оборудования для комплексной

переработки минерального и органического сырья для различных целей. В частности, для переработки нефтепродуктов, печного и моторного топлива стандарта ЕВРО 4, 5, масел, материалов для строительной отрасли и компонентов для нефтехимического производства.

Карта сегментирования рынка электропривода запорной арматуры приведена в таблице 13.

Таблица №13 – Карта сегментирования рынка электропривода ЗА

	Электропривод запорной арматуры на базе АД с ПЧ	Электропривод запорной арматуры на базе ДПТ	Электропривод запорной арматуры на базе АД с прямым пуском
Проектирование и производство			
Установка и пуско-наладка			
Обслуживание и ремонт			
Электропривод фирмы «Vanessa»		Электропривод фирмы «АРМАТЕК»	

Результаты сегментирования:

Основными сегментами рынка являются все виды деятельности для электроприводов асинхронных электроприводов и приводов постоянного тока. Наиболее сильно предприятие должно быть ориентировано на сегменты рынка связанные с проектированием и производством, установкой и пуско-наладкой асинхронных электроприводов;

Наиболее привлекательными сегментами рынка являются отрасли, связанные с проектированием и производством, установкой и пуско-наладкой асинхронных электроприводов запорной арматуры на базе АД с ПЧ, так как данные электропривода являются самыми перспективными, удобными в проектировании, установке и пуско-наладке, при обслуживании и ремонте, а

также данный вид электропривода имеет возможность дистанционного и автоматического управления.

7.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Данный анализ помогает методом сравнения оценить сильные и слабые стороны рассматриваемых электроприводов запорной арматуры нефтепровода чтобы наиболее обосновано выбрать установку для дальнейшего проектирования. Наиболее часто один вариант не может обладать сразу всеми техническими и экономическими показателями в высшей степени, поэтому данный анализ позволяет выбрать тот вариант, который в целом обладает наивысшей конкурентоспособностью.

Для того чтоб провести оценку конкурентоспособности нужно рассмотреть три вида наиболее конкурентоспособных двигателей это:

- Электропривод ЗА на базе АД с ПЧ (АД с ПЧ);
- Электропривод ЗА на базе ДПТ (ДПТ);
- Электропривод ЗА на базе АД с прямым пуском (АД).

Сравнение характеристик выбранных электродвигателей представлено в оценочной карте. Оценочная карта представлена в таблице 14.

Таблица 14 – Оценочная карта сравнения конкурентных решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		АД с ПЧ	ДПТ	АД	АД с ПЧ	ДПТ	АД
1	2	3	4	5	6	7	8
Технический критерий оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,07	5	3	4	0,35	0,21	0,28
2. Удобство в эксплуатации	0,12	5	4	5	0,6	0,48	0,6
3. Помехоустойчивость	0,03	4	5	4	0,12	0,15	0,12
4. Энергоэкономичность	0,11	5	3	4	0,55	0,33	0,44

Продолжение таблицы № 14

5. Надежность	0,06	5	5	5	0,3	0,3	0,3
6. Уровень шума	0,03	3	3	3	0,09	0,09	0,09
7. Безопасность	0,01	5	5	4	0,05	0,05	0,4
8. Потребность в ресурсах памяти	0,02	5	3	3	0,1	0,06	0,06
9. Функциональная мощность	0,04	5	4	4	0,2	0,16	0,16
10. Простота эксплуатации	0,04	4	5	5	0,16	0,2	0,2
11. Качество интеллектуального интерфейса	0,05	5	3	3	0,25	0,15	0,15
12. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,06	5	3	3	0,3	0,18	0,18
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,04	5	3	4	0,2	0,12	0,16
2. Уровень проникновения на рынок	0,04	5	4	5	0,2	0,16	0,2
3. Цена	0,1	3	4	5	0,3	0,4	0,5
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,07	5	4	5	0,35	0,28	0,35
5. Послепродажное обслуживание	0,03	5	4	4	0,15	0,12	0,12
6. Финансирование научной разработки	0,05	5	3	4	0,25	0,15	0,2
7. Срок выхода на рынок	0,03	4	4	5	0,12	0,12	0,15
8. Наличие сертификации разработки	0,04	5	3	4	0,2	0,12	0,16
Итого	1				4,84	3,83	4,42

Для проведения данного анализа сравнения проводится с двумя распространенными электроприводами запорной арматуры: 1) Vanessa 30,000 мощность 1,5 кВт; 2) АРМАТЕК-502, мощность 2,0 кВт.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Пример расчета конкурентоспособности:

$$K = 0,07 \times 5 = 0,35$$

Расчет конкурентоспособности по всем техническим критериям оценки:

$$K(\text{АДсПЧ}) = 0,35 + 0,6 + 0,12 + 0,55 + 0,3 + 0,09 + 0,05 + 0,1 + 0,2 + 0,16 + 0,25 + 0,3 + 0,2 + 0,2 + 0,3 + 0,35 + 0,15 + 0,25 + 0,12 + 0,2 = 4,84$$

$$K(\text{ДПТ}) = 0,21 + 0,48 + 0,15 + 0,33 + 0,3 + 0,09 + 0,05 + 0,06 + 0,16 + 0,2 + 0,15 + 0,18 + 0,12 + 0,16 + 0,4 + 0,28 + 0,12 + 0,15 + 0,12 + 0,12 = 3,83$$

$$K(\text{АД}) = 0,28 + 0,6 + 0,12 + 0,44 + 0,3 + 0,09 + 0,4 + 0,06 + 0,16 + 0,2 + 0,15 + 0,18 + 0,16 + 0,2 + 0,5 + 0,35 + 0,12 + 0,2 + 0,15 + 0,16 = 4,42$$

В ходе анализа конкурентных технических решений можно сделать вывод, что наибольшим преимуществом обладают асинхронные электродвигатели с ПЧ, так как превосходит конкурентов по производительности, качеству регулирования рабочего органа арматуры, качеству исполнения деталей.

7.3 FAST-анализ

FAST-анализ выступает как синоним функционально-стоимостного анализа. Суть этого метода базируется на том, что затраты, связанные с созданием и использованием любого объекта, выполняющего заданные функции, состоят из необходимых для его изготовления и эксплуатации и дополнительных, функционально неоправданных, излишних затрат, которые возникают из-за введения ненужных функций, не имеющих прямого отношения к назначению объекта, или связаны с несовершенством конструкции, технологических процессов, применяемых материалов, методов организации труда и т.д.

Проведение FAST-анализа предполагает шесть стадий:

1. Выбор объекта FAST-анализа;
2. Описание главной, основных и вспомогательных функций, выполняемых объектом;
3. Определение значимости выполняемых функций объектом;
4. Анализ стоимости функций, выполняемых объектом исследования;
5. Построение функционально-стоимостной диаграммы объекта и ее анализ;
6. Оптимизация функций, выполняемых объектом.

Стадия 1. Выбор объекта FAST-анализа.

В рамках магистерской диссертации в качестве объекта FAST-анализа выступает асинхронный электропривод шаробарабанной мельницы.

Стадия 2. Описание главной, основных и вспомогательных функций, выполняемых объектом.

Таблица 15 – Классификация функций, выполняемых объектом исследования

Наименование детали (узла, процесса)	Количество деталей на узел	Выполняемая функция	Ранг функции		
			Главная	Основная	Вспомогательная
Асинхронный двигатель	1	Приводит в движение рабочий орган арматуры	X		
Преобразователь частоты	1	Преобразование частоты напряжения питающей сети двигателя, для управления им, поддержание необходимой скорости и момента согласно техпроцессу.	X		
Рабочий орган	1	Перекрывает трубопровод, обеспечивает регулирование давления, выполняет основные функции ЗА	X		

Продолжение таблицы № 15

Блок концевых и промежуточн ых выключателей	1	Сигнализирует о текущей позиции рабочего органа, блокирует механизм, и отключать питание двигателя.			X
Ручной дублер	1	Обеспечивает ручное управление рабочим органом ЗА			X
Редуктор	1	Служит для преобразования высокой угловой скорости входного вала в более низкую, повышая при этом вращающий момент		X	

Стадия 3. Определение значимости выполняемых функций объектом.

Таблица 16 – Матрица смежности

	Функция 1	Функция 2	Функция 3	Функция 4	Функция 5	Функция 6
Функция 1	=	<	>	>	>	>
Функция 2	>	=	>	>	>	>
Функция 3	<	<	=	>	>	>
Функция 4	<	<	<	=	=	<
Функция 5	<	<	<	>	=	<
Функция 6	<	<	=	>	>	=

Таблица 17 – Матрица количественных соотношений функций

	Функция 1	Функция 2	Функция 3	Функция 4	Функция 5	Функция 6	ИТОГО
Функция 1	1	0,5	1,5	1,5	1,5	1,5	7,5
Функция 2	1,5	1	1,5	1,5	1,5	1,5	8,5
Функция 3	0,5	0,5	1	1,5	1,5	1,5	6,5
Функция 4	0,5	0,5	0,5	1	1	0,5	4,0
Функция 5	0,5	0,5	0,5	1,5	1	0,5	4,5
Функция 6	0,5	0,5	1	1,5	1,5	1	6,0
							$\Sigma = 37$

Стадия 4. Анализ стоимости функций, выполняемых объектом исследования.

Таблица 18 – Определение стоимости функций, выполняемых объектом
исследования

Наименование детали (узла, процесса)	Количество деталей на узел	Выполняемая функция	Норма расхода, кг	Трудоемкость детали, нормо-ч	Стоимость материала, руб.	Заработная плата, руб.	Себестоимость, руб.
Асинхронный двигатель	1	Приводит в движение рабочий орган арматуры	-	2,0	5023,0	1050,0	6073,0
Преобразователь частоты	1	Преобразование частоты напряжения питающей сети двигателя, для управления им, поддержание необходимой скорости и момента согласно техпроцессу.	-	2,5	8945,2	1500,5	8045,2
Рабочий орган	1	Перекрывает трубопровод, обеспечивает регулирование давления, выполняет основные функции ЗА	-	1,0	453,0	210,5	1663,5
Блок конечных и промежуточных выключателей	1	Сигнализирует о текущей позиции рабочего органа, блокирует механизм, и отключать питание двигателя.	-	0,5	213,5	105,0	818,5

Продолжение таблицы № 18

Ручной дублер	1	Обеспечивает ручное управление рабочим органом ЗА	-	1	167,5	80,4	1047,9
Редуктор	1	Служит для преобразования высокой угловой скорости входного вала в более низкую, повышая при этом вращающий момент	10,5	2,0	4320,0	950,5	5270,5

Стадия 5. Построение функционально-стоимостной диаграммы объекта и ее анализ.

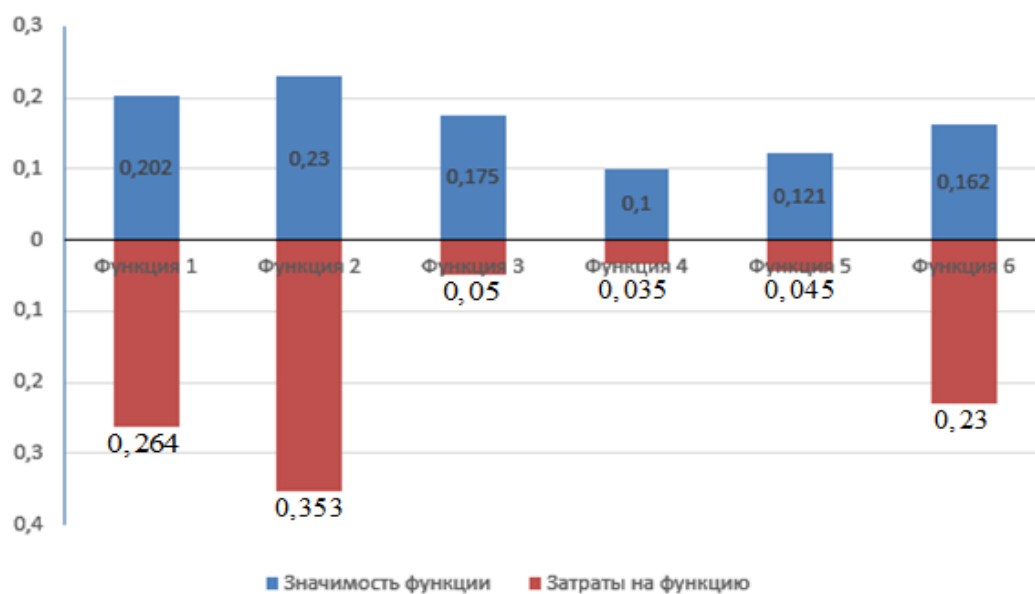


Рисунок 59 – Функционально-стоимостная диаграмма

Построенная функционально-стоимостная диаграмма позволяет выявить диспропорции между важностью (полезностью) функций и затратами на них. Анализ приведенной выше ФСД показывает явное наличие рассогласования по функциям 1, 2. Необходимо провести работы по ликвидации данных диспропорций.

Стадия 6. Оптимизация функций, выполняемых объектом.

Список мероприятий для снижения затрат на единицу полезного эффекта:

- применение принципиально новых конструкторских решений;
- оптимизация технических параметров;
- оптимизация параметров надежности;
- повышение ремонтпригодности;
- применение новых техпроцессов, заготовок, материалов и т.д.

7.4 Диаграмма Исикава

Диаграмма причины-следствия Исикавы (Cause-and-Effect-Diagram) - это графический метод анализа и формирования причинно-следственных связей, инструментальное средство для систематического определения причин проблемы и последующего графического представления [12].

Причинно-следственная диаграмма представлена на рисунке 60.

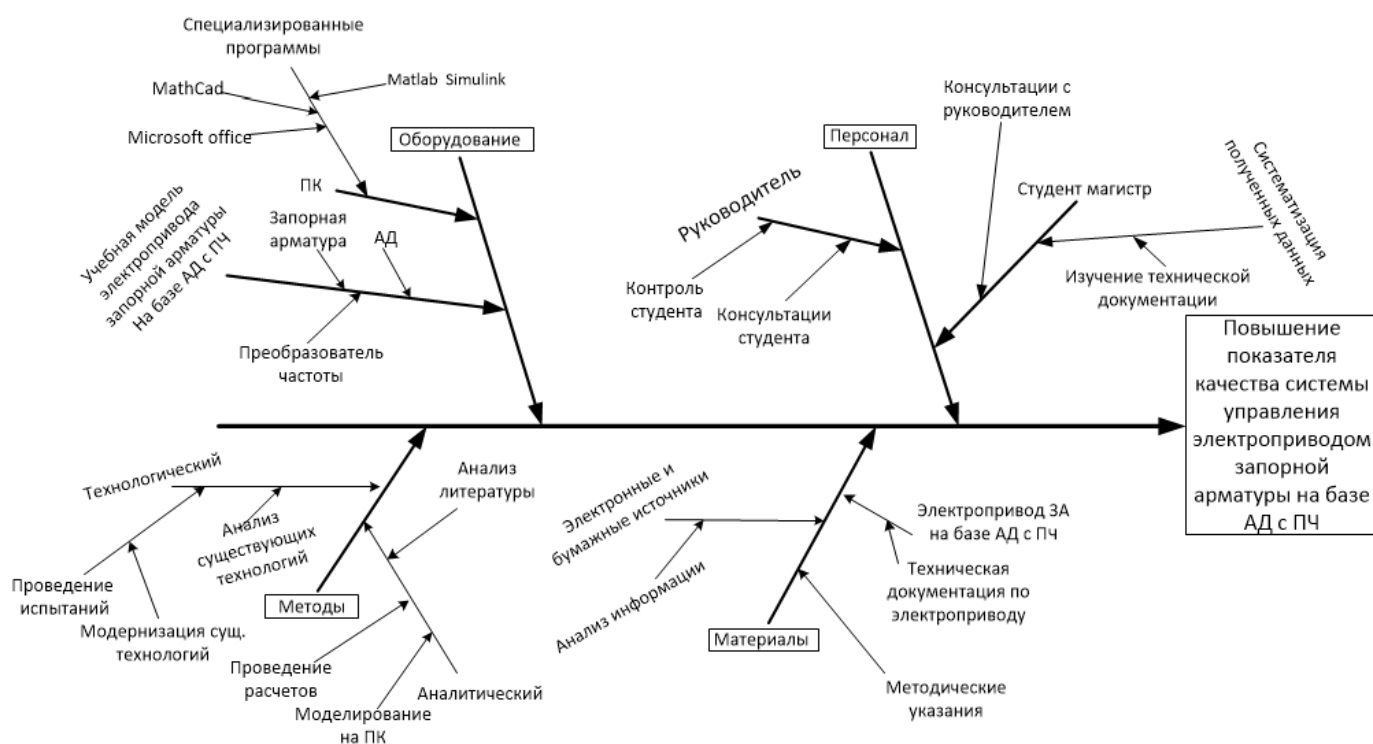


Рисунок 60 – Причинно-следственная диаграмма Исикава

На данной диаграмме обозначены основные факторы, которые оказывают заметное влияние на объект анализа, в данном случае объектом анализа является электропривод запорной арматуры (ЗА) на базе асинхронного двигателя (АД) с преобразователем частоты (ПЧ).

7.5 SWOT-анализ

SWOT - анализ является инструментом стратегического менеджмента. Представляет собой комплексное исследование технического проекта. SWOT - анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Первый этап описывает сильные и слабые стороны проекта, находит возможности и угрозы для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Второй этап выявляет соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие помогает определить степень необходимости проведения стратегических изменений. В пределах данного этапа следует построить интерактивную матрицу проекта. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-».

Таблица 19 – Матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
	<p>С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии.</p> <p>С2. Экологичность технологии.</p> <p>С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.</p> <p>С4. Повышение производительности труда.</p> <p>С5. Квалифицированный персонал.</p> <p>С6. Высокий срок эксплуатации.</p> <p>С7. Надежность данной системы по сравнению с другими.</p> <p>С8. Высокое качество продукции.</p> <p>С9. Универсальность схемы управления.</p>	<p>Сл1. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой</p> <p>Сл2. Большой срок выхода на рынок</p> <p>Сл3. Высокая стоимость лицензионного программного обеспечения</p>

Возможности: В1.Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2.Появление дополнительного спроса на новый продукт В3. Снижение стоимости на электроэнергию и материалы, используемые при научных исследованиях В4. Повышение стоимости конкурентных разработок В5. Развитие технологий в данной отрасли	B1; C2; C5; C7; C8; C9;	
	B2; C1; C2; C3; C4; C6; C7; C8; C9;	B2; Сл2;
	B3; C1; C3; C4; C6; C7; C9;	
	B4; C1; C5; C6; C7; C8; C9;	
	B5; C1; C3; C4; C5; C6; C7; C8; C9.	B5; Сл1; Сл3.
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства. У2. Развитая конкуренция технологий производства У3. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции У4.Экономическая ситуация в стране, влияющая на спрос. У5. Появление новых конкурентных разработок.	У1; C5;	У1; Сл1; Сл3;
	У2; C1; C2;	У2; Сл3;
	У3; C1; C2; C3; C6;	У3; Сл1; Сл2; Сл3;
		У4; Сл1; Сл3;
	У5; C1; C5.	У5; Сл1; Сл3.

Таблица 20 – Интерактивная матрица «Сильные стороны – возможности»

Возможности	Сильные стороны проекта									
		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
	B1	0	+	0	0	+	0	+	+	+
	B2	+	+	+	+	-	+	+	+	+
	B3	+	-	+	+	-	+	+	0	+
	B4	+	-	-	0	+	+	+	+	+
	B5	+	0	+	+	+	+	+	+	+

Результат анализа таблицы:

B1; C2; C5; C7; C8; C9;

B2; C1; C2; C3; C4; C6; C7; C8; C9;

B3; C1; C3; C4; C6; C7; C9;

B4; C1; C5; C6; C7; C8; C9;

B5; C1; C3; C4; C5; C6; C7; C8; C9.

Таблица 21 – Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны – угрозы»

Угрозы	Сильные стороны проекта									
		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
	B1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B2	+	+	-	-	-	-	-	-	-
	B3	+	0	+	+	-	+	0	0	0
	B4	-	-	-	0	0	-	-	-	-
	B5	+	-	-	-	+	-	-	-	-

Результаты анализа таблицы:

У1; С5;

У2; С1; С2;

У3; С1; С2; С3; С6;

У5; С1; С5.

Таблица 22 – Интерактивная матрица «Слабые стороны – возможности»

Возможности	Слабые стороны проекта			
		Сл1	Сл2	Сл3
	B1	-	-	-
	B2	-	+	-
	B3	-	-	-
	B4	-	-	0
	B5	+	0	+

Результаты анализа таблицы:

В2; Сл2;

В5; Сл1; Сл3.

Таблица 23 – Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны – угрозы»

Угрозы	Слабые стороны проекта			
		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	+	0	+
	У2	-	0	+
	У3	+	+	+
	У4	+	-	+
	У5	+	0	+

Результаты анализа таблицы:

У1; Сл1; Сл3;

У2; Сл3;

У3; Сл1; Сл2; Сл3;

У4; Сл1; Сл3;

У5; Сл1; Сл3.

В рамках **третьего этапа** должен быть подведен итог SWOT-анализа, в котором будут отражены стратегические планы на реализацию проекта и долгосрочное развитие. По результатам второго этапа выделим основные задачи:

- Внедрение автоматической системы сигнализации повреждения оборудования;
- Внедрение новых технологий обнаружения неисправностей;
- Внедрение нескольких источников поставки частей и материалов;
- Обеспечение подготовки квалифицированных кадров, и благоприятные условия труда для них.

В результате анализа было установлено, что технический проект имеет такие важные преимущества, как высокая энергоэффективность, повышенная безопасность производства, которые обеспечивают высокую производительность и экономичность технологического процесса. Несмотря на это, имеет место быть сложность ремонта отдельных частей оборудования, которая приводит к большим затрат на поставку этих частей с заводов, что в свою очередь сопровождается большими затратами в целом.

Главными факторами, влияющими на функциональную и бесперебойную работу оборудования, являются поставка материалов и обнаружение повреждений оборудования на начальных стадиях, когда замена частей агрегатов или ремонт не составляет значительных затрат.

7.6 Оценка готовности проекта к коммерциализации

Оценка степени готовности научной разработки к коммерциализации и выяснение уровня ее завершения. Для этого заполняется специальная форма, содержащая показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта. Перечень вопросов приведен в табл. 24

**Таблица 24 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к
коммерциализации**

№ п/п	Наименование	Степень проработанно сти научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчик а
1	Определен имеющийся научно-технический задел	4	4
2	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	4
3	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	4
4	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	3	3
5	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	2	1
6	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	2	3
7	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	2	3
8	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	1	2
9	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	3
10	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	2	2
11	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1
12	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	1	1
3	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	1	1
14	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	1	1
15	Проработан механизм реализации научного проекта	4	4
	ИТОГО БАЛЛОВ	35	37

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i$$

где $B_{\text{сум}}$ – суммарное количество баллов по каждому направлению; B_i – балл по i -му показателю.

7.7 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

При коммерциализации научно-технических разработок продавец, преследует вполне определенную цель, куда он намерен направить

полученный коммерческий эффект. Это может быть получение средств, для продолжения своих научных исследований и разработок, однократное получение финансовых ресурсов для каких-либо целей или для накопления, обеспечение постоянного притока финансовых средств, а также их различные сочетания [13].

Для коммерциализации объекта исследования и обоснования его целесообразности, были проработаны следующие методы коммерциализации научной разработки.

- 1) Реализация лицензий патента.
- 2) Передача интеллектуальной собственности в уставной капитал предприятия.

Были выбраны два менее затратных метода коммерциализации.

7.8 Инициация проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта. Устав проекта документирует бизнес-потребности, текущее понимание потребностей заказчика проекта, а также новый продукт, услугу или результат, который планируется создать. Устав научного проекта магистерской работы должен иметь следующую структуру:

1. Цели и результат проекта;
2. Организационная структура проекта;
3. Ограничения и допущения проекта.

1. Цели и результаты проекта

В данном разделе приведена информация о заинтересованных сторонах проекта, иерархии целей проекта и критериях достижения целей. Данная информация приведена в таблице №25.

Таблица №25 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Научный руководитель	<ul style="list-style-type: none"> -Соблюдение всех необходимых правил и допущений при выполнении проекта; -Соответствие техническим требованиям и условиям; - Проект должен соответствовать выделенному бюджету; -Значения интегральной ресурсоэффективности и предельные значения эффективности должны соответствовать заданию на выполнение проекта;
Инженер	<ul style="list-style-type: none"> -Получение необходимых консультаций от руководителя проекта; -Обеспечение необходимыми материалами и технической документацией для выполнения проекта; - Получение магистерской степени, после защиты диссертации, основанной на данном проекте.

В таблице 26 представлена информация о иерархиях целей проекта и критериях достижения целей.

Таблица №26 Цели проекта

Цели проекта	Разработать электропривод запорной арматуры нефтепровода на базе АД с ПЧ.
Ожидаемые результаты проекта	Получение электропривода запорной арматуры нефтепровода, который будет соответствовать необходимым критериям, будет экономичнее и эффективнее конкурентов.
Критерии приемки результата проекта	- Проект должен соответствовать техническому заданию;
	- Оформление проекта должно соответствовать ГОСТ Р 7.05-2008, ГОСТ 7.32-2001, ГОСТ 7.1-2003.
Требования к результату проекта:	<p>Требование:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Нагрузка постоянная, реактивная. - Диапазон регулирования скорости 1000; - Точность регулирования положения 0.01%; - Повышенная перегрузочная способность; - Требования по безопасности использования электропривода должны соответствовать ГОСТ 25.861-83; - Нормы и нормативы расходования ресурсов

	<ul style="list-style-type: none"> - 14 % материальные расходы - 50 % расходы на оплату труда - 14% накладные расходы - 30% районный коэффициент. -
	<ul style="list-style-type: none"> • Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования 20% отчисления на социальные нужды; • Показатель интегральной ресурсоэффективности проекта не менее 4,5 баллов из 5; • Предельные значения эффективности результата проекта не менее 4,3 баллов из 5; • Расходы на осуществление проекта не более 150000руб.

2. Организационная структура проекта.

На данном этапе работы решаются следующие вопросы: кто будет входить в рабочую группу данного проекта, определяются роли каждого из участников и их трудозатраты в проекте. Эта информация представлена в табличной форме (таблица 27).

Таблица №27 Ограничения проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час
1	Чернышев А. Ю. ТПУ, доцент	Руководитель проекта	Отвечает за реализацию проекта в пределах заданных ограничений по ресурсам, координирует деятельность участников проекта	680
2	Спицына Л. Ю. ТПУ, доцент	Эксперт проекта	Отвечает за реализацию раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность, ресурсосбережение» в проекте	360
3	Фех А. И. ТПУ, старший преподаватель	Эксперт проекта	Отвечает за реализацию раздела «Социальная ответственность» в проекте	360
4	Фазлыяхметов Д. Р. ТПУ, студент	Исполнитель проекта	Специалист, выполняющий отдельные работы и исследования согласно проекту	3500
ИТОГО				4900

3. Ограничения и допущения проекта.

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованы в рамках данного проекта

Таблица №28 Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/допущения
3.1 Бюджет проекта	Не более 500000
3.1.1 Источник финансирования	ТПУ
3.2 Сроки проекта	15.09.2018г. – 1.06.2020г.
3.2.1 Дата утверждения плана управления проектом	20.09.2018г.
3.2.2 Дата завершения проекта	20.05.2020г.
3.3 Прочие ограничения и допущения	—

7.9 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

В предыдущем разделе были описаны методы, которые позволяют выявить и предложить возможные альтернативы проведения исследования и доработки результатов. К их числу относятся оценка конкурентных инженерных решений, SWOT-анализ, Fast-анализ. Разработка относится к вышеописанным стадиям, поэтому нет необходимости использовать морфологический подход.

7.9.1 Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта. На рисунке 61 представлена иерархическая структура работ данного проекта.



Рисунок 61 – Иерархическая структура работ проекта

7.9.2 Структура работ в рамках научного исследования

В таблице 29 представлены основные виды работ с указанием содержания, а также распределены исполнители. В качестве исполнителей выступают инженер и руководитель темы.

Таблица №29 – перечень этапов работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель темы
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	3	Описание объекта автоматизации (модернизации)	Инженер
	4	Календарное планирование работ по теме исследования	Руководитель
	5	Исследование структурной (принципиальной) схемы ЭП	Инженер
	6	Расчет параметров двигателя и модели	Инженер
	7	Выбор способа регулирования скорости	Инженер
	8	Расчёт предельных характеристик системы ПЧ-АД	Инженер

	9	Разработка математической модели системы АСУ ЭП	Инженер
	10	Оптимизация САР электропривода	Инженер
	11	Разработка программы имитационного моделирования	Инженер
Обобщение и оценка результатов	12	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель
Проведение ОКР			
Разработка технической документации и проектированию	13	Технико-экономические расчеты	Инженер
	14	Вопросы безопасности и экологичности проекта	Инженер
	15	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Инженер

7.9.3 Определение трудоёмкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$, используется следующая формула (2).

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{max i}}{5} \quad (2)$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоёмкость выполнения i -ой работы чел – дн.;

t_{mini} – минимальная трудоёмкость при выполнении i -ой работы, чел-дн.;

$t_{max i}$ – максимальная трудоёмкость при выполнении i -ой работы, чел-дн..

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях Tr , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как

удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{oji}}{Ч_i} \quad (3)$$

где T_{pi} – продолжительность работы в рабочих днях, раб. Дн.;

t_{oji} –ожидаемая трудоёмкость выполнения одной работы, чел-дн.;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Рассчитанная ожидаемая трудоемкость каждой из работ по проектированию приведена в таблице 16.

7.9.4 Разработка графика проведения научного исследования

Наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой (4).

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} \quad (4)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -ой работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -ой работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности учитывает количество выходных и праздничных дней и рассчитывается по формуле (5):

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} \quad (5)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году ($T_{\text{кал}} = 365$);

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году ($T_{\text{вд}} = 116$);

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году ($T_{\text{пд}} = 14$).

Значения для каждой работы представлены в таблице 16.

Пример расчета для инженера (подбор и изучение материалов по теме):

$$t_{\text{ож}} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 2}{5} = 1,4 \approx 2 \text{ чел-дней};$$

$$T_p = \frac{2}{1} = 2 \text{ дня};$$

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 116 - 14} = 1,553;$$

$$T_k = 2 \cdot 1,553 = 3,106 \approx 4 \text{ дня}.$$

Таблица №30 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительн ость работ в рабочих днях T_{pi}		Длительно сть работ в календарн днях T_{ki}	
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ожi}$, чел-дни					
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
Составление и утверждение технического задания	1		2		2		2		4	
Подбор и изучение материалов по теме		5		8		7		7		11
Описание объекта автоматизации (модернизации)		3		4		4		4		7
Календарное планирование работ по теме	3		5		4		4		7	

Продолжение таблицы № 30

Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП		4		9		6		6		10
Расчет параметров двигателя и модели		4		6		5		5		8
Выбор способа регулирования скорости		2		4		8		8		12
Расчет предельных характеристик системы «преобразователь–электродвигатель»		2		4		3		3		5
Разработка математической модели системы АУ ЭП	3		6		5		5		8	
Оптимизация САР электропривода		4		8		6		6		10
Разработка программы имитационного моделирования		5		8		7		7		11
Оценка эффективности полученных результатов	2		3		3		3		5	
Технико-экономические расчеты		3		7		5		5		8
Вопросы безопасности и экологичности проекта		3		7		5		5		8
Составление пояснительной записки		1		3		2		2		4

На основании таблицы 30 строим график Ганта, рисунок 62

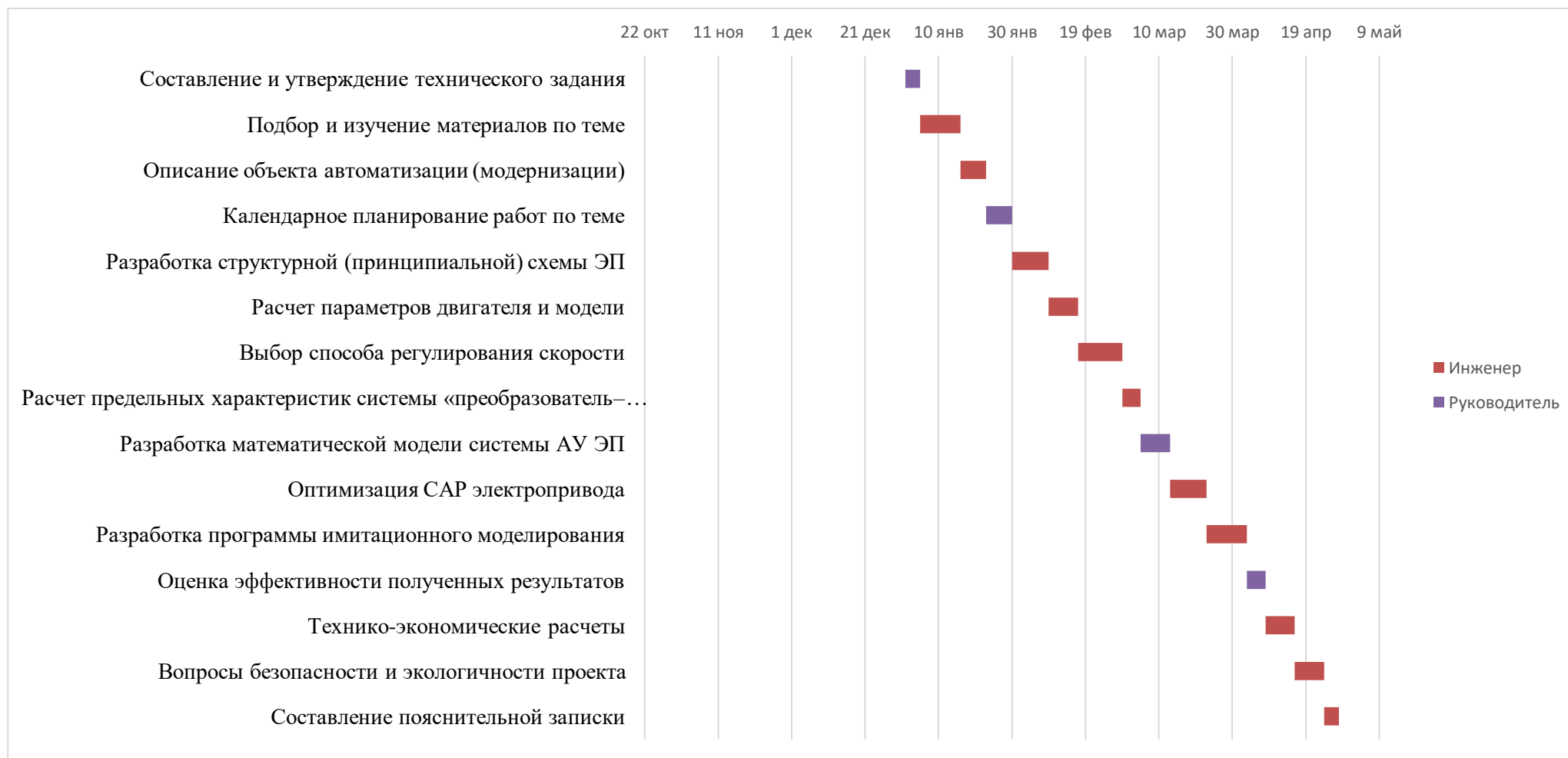


Рисунок 62 – Календарный план график НТИ

Итого длительность работ в календарных днях руководителя проекта равняется 24 дня, а инженера 94 дня.

7.9.5 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

Бюджет научно-технического исследования складывается из следующих статей расходов:

- материальные расходы;
- амортизация;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

7.10 Материальные расходы

В материальные затраты включаются затраты на канцелярские принадлежности, информационные носители (флеш-карты), картриджи и т.п. Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$З_m = \sum_{i=1}^m Ц_i \cdot N_{расхi},$$

где m – количество видов материальных ресурсов;

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию (натур.ед.);

$Ц_i$ – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./натур.ед.);

Значения цен на материальные ресурсы установлены по данным, размещенным на сайте канцелярского магазина ООО «Папирус», ТД „Канцелярский мир”.

Привлечение сторонней организации „NetCafé” для типографических работ.

Стоимость материалов, используемых при разработке данного проекта, приведена в таблице 31.

Таблица 31 – Материальные затраты на выполнение научного исследования

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (З _м), руб.
Бумага для принтера	упаковка	1	300	300
Ручка	штук	3	12	36
Брошюровка	штук	1	25	25
USB накопитель	штук	1	450	450
Калькулятор	штук	1	250	250
Линейка	штук	1	30	30
Распечатка файлов	лист	200	2	400
Мультифора	штук	3	2	6
Итого:				1497

Таким образом материальные затраты на выполнение данного научно-технического исследования составляют 1497 рублей.

7.10.1 Амортизация

Расчет амортизационных отчислений для полного восстановления основных фондов производится по нормам амортизации, утвержденным в порядке, установленном действующим законодательством, и определяется в зависимости от стоимости оборудования. Для проектирования требуется следующее оборудование:

Компьютер - 45000 рублей.

$$I_{ам} = \frac{T_{ис}}{T_{г}} \cdot \frac{1}{T_{сл}} \cdot C_{обор}$$

где $T_{исп.}$ - время использования оборудования = 116 дней;

$T_{г}$ - количество использования в год = 365 дней;

$C_{обор.}$ - стоимость оборудования = 45000;

$T_{сл.}$ - срок службы оборудования = 3 лет

Пример расчета:

$$I_{ам} = \frac{116}{365} \cdot \frac{1}{3} \cdot 45000 = 4767,124$$

7.10.2 Основная заработная плата

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НТИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$З_{зн} = З_{осн} + З_{доп} = 9404 + 1880,8 = 11284,8 \text{ руб} \quad (8)$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата;

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $З_{осн}$)

Основная заработная плата ($З_{осн}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p = 2351 \cdot 4 = 9404 \text{ руб} \quad (9)$$

Где T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.

$З_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб

$$З_{дн} = \frac{З_m \cdot M}{237} = \frac{53594 \cdot 10,4}{237} = 2351 \text{ руб},$$

Где $З_m$ – месячный должностной оклад работника, руб

M – количество месяцев работы без отпуска в течении года:

— при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

— при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (табл. 32)

Таблица №32 годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	52	52
– Выходные дни	14	14
– Праздничные дни		

Потери рабочего времени		
– Отпуск	48	48
– Больничный	14	14
Действительный годовой фонд рабочего времени	237	237

Месячный должностной оклад сотрудника (руководитель)

$$Z_m = Z_{mc} \cdot (1 + k_{np} + k_o) \cdot k_p = 27484 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 53594 \text{ руб}$$

где Z_{mc} – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

k_{np} – премиальный коэффициент, равный 0,3 (30% от Z_{mc});

k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в научном исследовательском институте за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от Z_{mc});

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.

В примерах приведены расчет заработной платы руководителя.

Расчет основной заработной платы приведен в таблице №33.

Таблица 33 – Расчёт заработной платы

Исполнители	Z_{mc} , руб.	k_{np}	k_d	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{доп}$, руб.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	27484	0,3	0,2	1,3	53594	2351	16	4514	37616
Инженер	17808	0,3	0,2	1,3	34725	1523	94	17365,2	144685
Итого									182301

7.10.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Дополнительная заработная плата – это оплата за непроработанное время.

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и

общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Дополнительная заработная плата рассчитывается с помощью коэффициента $k_{\text{доп}}$ по формуле (10):

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (10)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15),

Расчет:

$$Z_{\text{доп}} = 0,12 \cdot 37616 = 4514 \text{ руб (для руководителя),}$$

$$Z_{\text{доп}} = 0,12 \cdot 144685 = 17365,2 \text{ руб (для инженера)}$$

7.10.4 Отчисления во внебюджетные фонды

Данная статья расходов включает в себя обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам во внебюджетные фонды. К внебюджетным фондам относятся: фонд социального страхования (ФСС), пенсионный фонд (ПФ), федеральный фонд обязательного медицинского страхования (ФФОМС).

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы (11):

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (11)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Расчет:

$$Z_{\text{внеб}} = 0,3 \cdot (37616 + 4514) = 12639 \text{ руб (руковод.)}$$

$$Z_{\text{внеб}} = 0,3 \cdot (144685 + 17365,2) = 48615,06 \text{ руб (инж.)}$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2017 г. установлен размер страховых взносов равный 30%.

Таблица 34 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	37616	4514
Инженер	144685	48615,06
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,3	
Итого		
Руководитель	12639	
Инженер	48615	

7.10.5 Накладные расходы

Накладные расходы – это затраты, которые не попали в предыдущие статьи расходов. К ним относят: оплата электроэнергии, услуги связи, печать и ксерокопирование материалов и т.д. Величина накладных расходов определяется с учетом коэффициента $k_{нр}$ по формуле (12):

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле (12):

$$Z_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{нр} = (Z_{м} + Z_{осн} + Z_{доп} + Z_{внеб} + A) \cdot k_{нр} \quad (12)$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы (16%).

Расчет:

$$Z_{накл} = (1497 + 182301 + 21879,2 + 61254,06 + 4767,124) \cdot 0,16 = 43471,74 \text{ руб.}$$

7.10.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической

продукции. Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в табл.35.

Таблица №35 – Бюджет затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	%
1. Материальные расходы	1497	0,4%
2. Амортизация	4767,124	1,5%
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	182301	58,2%
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	21876	7%
5. Отчисления во внебюджетные фонды	61254	19,5%
6. Накладные расходы	41521	13,2%
7. Бюджет затрат НТИ	313216,124	100

7.11 Определение ресурсоэффективности проекта

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

1. Интегральный финансовый показатель определяется как:

$$I_{фин}^{исп.i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}},$$

где: $I_{фин}^{исп.i}$ - интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} - стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} - максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского

проекта. Пример расчета:

$$I_{фин}^{исп.ДПТ} = \frac{\Phi_{рДПТ}}{\Phi_{max}} = \frac{135000}{150000} = 0,9 ;$$

Таблица № 36 интегральный финансовый показатель

Вариант исполнения	Φ_{\max} , руб.	Φ_{pi} , руб.	$I_{фин}^{исп.i}$, о.е.
Электропривод ЗА на базе АД с ПЧ	150000	150000	1
Электропривод ЗА на базе ДПТ		135000	0,9
Электропривод ЗА на базе АД прямой пуск		120000	0,8

2. **Ресурсоэффективность** проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i \cdot b_i,$$

где I_m^a - интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;

a_i - весовой коэффициент разработки;

b_i - банальная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Для определения ресурсоэффективности проекта по проектированию асинхронного электропривода трубопроводной арматуры рекомендуется рассмотреть следующие критерии:

Надежность электропривода механизма арматурной заслонки— это длительный эксплуатационный ресурс (в частности, в условиях атмосферы с содержанием агрессивных реагентов, не стабильным напряжением и высокой влажности). Надежность повышает исполнение всех деталей оборудования во взрывозащищенном и влагостойком корпусе, электроснабжения обеспечивается дополнительным резервным питанием, что в свою очередь позволяет обеспечить безаварийность и бесперебойность в работе

Энергосбережение электропривода механизма арматурной заслонки — это экономия электрической энергии. Энергосбережение достигается за счет оптимального подбора мощности электродвигателей, использование частотно-регулируемого привода.

Материалоемкость электропривода механизма арматурной заслонки – это показатель расхода энергии для работы в номинальном режиме.

Производительность механизма арматурной заслонки – должна обеспечивать быстрое перекрытие трубопровода в не зависимости от напора протекающей в нем жидкости или газа.

Удобство – это возможность лёгкой настройки, монтажа и демонтажа электропривода. Удобство монтажа и демонтажа осуществляется в отсутствие большого количества резьбовых соединений, в данной конструкции используются мультиконтактные силовые разъёмы.

Производительности труда – это показатель, характеризующий результативность труда, обеспечивается в проекте благодаря автоматизации, но при этом капиталовложения возрастают. Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики приведены в таблице 37

Таблица №37 – Критерии ресурсоэффективности

Критерии	Весовой коэффициент	Электропривод запорной арматуры на базе ДПТ	Электропривод запорной арматуры на базе АД с ПЧ	Электропривод запорной арматуры на базе АД пуском
Безопасность	0,25	5	5	5
Удобство в эксплуатации	0,10	5	5	5
Помехоустойчивость	0,10	4	4	4
Энергосбережение	0,15	4	5	4
Надежность	0,25	4	5	4
Материалоемкость	0,15	4	4	5
Итого:	1.00	4,33	4,66	4,5

Пример расчета ресурсоэффективности для электропривода ЗА на базе АД с ПЧ: $I_{АДсПЧ} = 0,25 \cdot 5 + 0,10 \cdot 5 + 0,10 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,25 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 = 4,66$

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение, что говорит об эффективности использования технического решения данного проекта.

3. Интегральный показатель эффективности разработки и аналогов

Определяется данный параметр на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_\phi^a}; \quad I_{финр}^a = \frac{I_m^a}{I_\phi^a}; \quad \dots \text{Пример расчета: } I_{финр}^{АДсПЧ} = \frac{I_m^{АДсПЧ}}{I_\phi^{АДсПЧ}} = \frac{4,6}{1} = 4,6 ;$$

Таблица №38 - Интегральные показатели эффективности разработки

Варианты	Интегральный показатель эффективности, о.е.
Электропривод ЗА на базе АД с ПЧ	4,66
Электропривод ЗА на базе ДПТ	4,8
Электропривод ЗА на базе АД прямой пуск	5,626

4. Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов.

Данное сравнение проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта. Результаты сравнительной эффективности проекта представлены в таблице 39. Рассчитать сравнительную эффективность проекта можно по приведенной ниже формуле:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финр}^a};$$

где: \mathcal{E}_{cp} - сравнительная эффективность проекта; $I_{финр}^p$ - интегральный показатель разработки; $I_{финр}^a$ - интегральный технико-экономический показатель аналога. Пример расчета:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{финр}^{АДсПЧ}}{I_{финр}^{ДПТ}} = \frac{4,66}{4,8} = 0,97;$$

Таблица №39 – интегральные показатели эффективности проекта

№ п/п	Показатели	Электроприво д ЗА на базе ДПТ	Электроприво д ЗА на базе АД с ПЧ	Электропривод ЗА на базе АД с прямым пуском
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,9	1	0,8
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,33	4,66	4,5

3	Интегральный показатель эффективности	4,8	4,66	5,625
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	0,97	1	0,82

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять, что более эффективный вариант решения поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности, является электропривод запорной арматуры на базе асинхронного двигателя с преобразователем частоты.

В ходе выполнения данной части выпускной работы была доказана конкурентоспособность этого технического решения в сравнении с другими конкурентоспособными электроприводами запорной арматуры. Так же была произведена оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований в данной области с позиции ресурсоэффективности. Для этого в разделе произведен FAST анализ и SWOT-анализ, построена диаграмма Исикава, осуществлено планирование работ, находящихся в рамках данного научного исследования, определены временные рамки и трудоемкость работ каждого из участников исследования, составлен ленточный график проведения работ в форме диаграммы Ганта, по результатам которой определено, что выполнение работы занимает 118 дней, из которых 24 рабочих дня у руководителя и 94 дня у инженера.

Произведен расчет бюджета НТИ, он равен 313216,124 руб, основная часть которого приходится на зарплаты сотрудников и отчисления внебюджетные фонды.

В результате эксплуатации выбранного электропривода запорной арматуры, основанного на базе асинхронного двигателя с преобразователем частоты, повышается эффективность работы за счет уменьшения общего расхода на оборудование, экономия электроэнергии, возможность дистанционного управления арматурой, повышения надежности и ресурсоэффективности запорной арматуры.

8 Социальная ответственность

Целью данного раздела является обеспечение безопасности, соблюдение экологических норм в здании, в котором расположена система управления электроприводом запорной арматуры. Будет рассматриваться обеспечение необходимых условий труда в лаборатории 253 8-го корпуса НИ ТПУ. Площадь рабочего помещения составляет 50 м² (длина А = 8,5 м, ширина В = 5,8 м), объем составляет 148 м³ (высота С = 3 м). помещение рассчитано на 8 человек, на каждое одно рабочее место приходится в среднем 6 м² общей площади и 20.5 м³ объема. По санитарным нормативам на одного человека приходится 6 м² площади и 24 м³ объема. В помещении расположено 3 многофункциональных рабочих стенда для проведения лабораторных испытаний, два ПК для выполнения различных работ и отчетов. В данной лаборатории вентиляция осуществляется как за счет проветривания - смена воздуха в помещении осуществляется через не плотности в проемах дверей, так и за счет организованной канальной естественной вытяжной вентиляции. Естественное освещение обеспечивается двумя оконными проемами.

Так же в разделе будут рассмотрены санитарно-гигиенические условия, защита от негативных производственных факторов, обеспечение пожарной безопасности, вопросы экологической безопасности, в соответствии с действующими нормативными документами.

8.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Правовые нормы трудового законодательства изложены в документе: «Трудовой кодекс Российской Федерации». Согласно данному документу, виды специальных норм трудового права представляют собой следующее:

- Нормы-льготы, предоставляют дополнительные гарантии трудовых прав;
- Нормы-приспособления, подстраивают общие нормы к данным условиям труда;
- Нормы-изъятия, ограничивают общие права.

Особенности трудового законодательства, применимы к условиям выполнения исследовательской деятельности, изложенного в данной работе, дифференцируются в соответствии с условиями труда: тяжесть и вредность труда, климатические условия, прочие особенности труда.

Согласно «ГОСТ 12.2.032-78. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования», место для работы за ПК и взаиморасположение всех его элементов должно соответствовать антропометрическим, физическим и психологическим требованиям. При обустройстве рабочего места инженера, необходимо соблюсти основные условия: выбрать наилучшее местоположение оборудования и обеспечить свободное рабочее пространство. Компоновка рабочего места представлена на рисунке 63

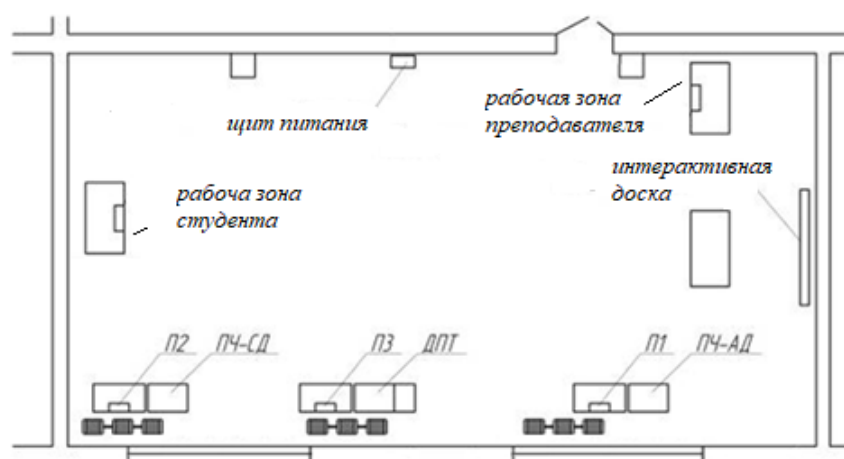


Рисунок 63 – Структурна схема компоновки лабораторного комплекса

Эргономическими аспектами проектирования видеотерминальных рабочих мест, в частности, являются: высота рабочей поверхности, размеры пространства для ног, требования к расположению документов на рабочем месте, характеристики рабочего кресла, требования к поверхности рабочего стола, регулируемость элементов рабочего места.

Сидячее положение вызывает минимальное утомление рабочего. Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что

требуется для выполнения работ чаще, расположено в зоне легкой досягаемости рабочего пространства (рисунок 45).

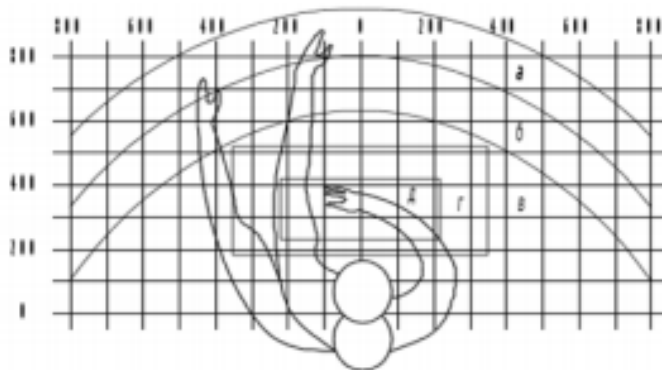


Рисунок 45 – Зона досягаемости рук в горизонтальной плоскости

а – зона максимальной досягаемости; б – зона досягаемости пальцев при вытянутой руке; в - зона легкой досягаемости ладони; г – оптимальное пространство для грубой ручной работы; д – оптимальное пространство для тонкой ручной работы.

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости:

- 1- дисплей размещается в зоне «а» (в центре);
- 2- системный блок размещается в предусмотренной нише стола;
- 3- клавиатура - в зоне г/д;
- 4- «мышь» - в зоне в справа;
- 5- 5-сканер в зоне «а/б» (слева);
- 6- 6-принтер находится в зоне а (справа);

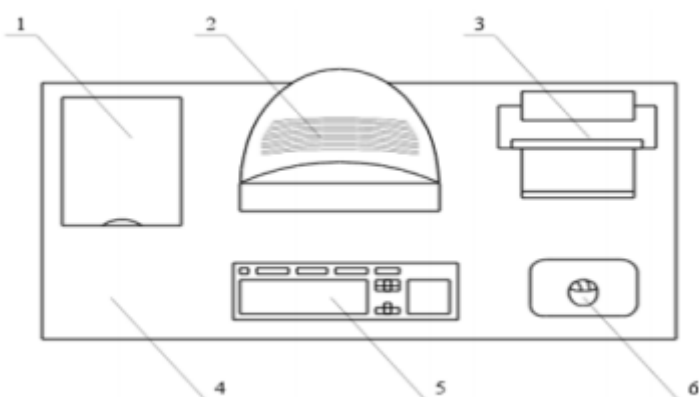


Рисунок 64 – Размещение основных и периферийных составляющих рабочего места

На рисунке 64, показан пример размещения основных и периферийных составляющих ПК на рабочем столе студента при выполнении исследований: 1 – сканер; 2 – монитор; 3 – принтер; 4 – поверхность рабочего стола; 5 – клавиатура; 6 – манипулятор типа «мышь».

Для комфортной работы стол должен удовлетворять следующим условиям:

- Высота стола должна быть выбрана с учетом возможности сидеть свободно, в удобной позе, при необходимости опираясь на подлокотники;
- Нижняя часть стола должна быть сконструирована так, чтобы программист мог удобно сидеть, не был вынужден поджимать ноги;
- Поверхность стола должна обладать свойствами, исключающими появление бликов в поле зрения программиста;
- Конструкция стола должна предусматривать наличие выдвижных ящиков (не менее 3 для хранения документации, листингов, канцелярских принадлежностей);
- Высота рабочей поверхности рекомендуется в пределах 680- 760мм. Высота поверхности, на которую устанавливается клавиатура, должна быть около 650мм.

Большое значение придается характеристикам рабочего кресла. Так, рекомендуемая высота сиденья над уровнем пола находится в пределах 420-550мм. Поверхность сиденья мягкая, передний край закругленный, а угол наклона спинки – регулируемый.

Положение экрана определяется:

- расстоянием считывания (0,6...0,7м);
- углом считывания, направлением взгляда на 200 ниже горизонтали к центру экрана, причем экран перпендикулярен этому направлению.

Должна также предусматриваться возможность регулирования экрана:

- по высоте +3 см;
- по наклону от -100 до +200 относительно вертикали;
- в левом и правом направлениях.

Большое значение также придается правильной рабочей позе пользователя. При неудобной рабочей позе могут появиться боли в мышцах, суставах и сухожилиях.

Требования к рабочей позе пользователя видеотерминала следующие:

- голова не должна быть наклонена более чем на 20°;
- плечи должны быть расслаблены;
- локти - под углом 90°...100°.

Во время пользования компьютером медики советуют устанавливать монитор на расстоянии 50-60 см от глаз. Специалисты также считают, что верхняя часть видеодисплея должна быть на уровне глаз или чуть ниже. Когда человек смотрит прямо перед собой, его глаза открываются шире, чем, когда он смотрит вниз. За счет этого площадь обзора значительно увеличивается, вызывая обезвоживание глаз. К тому же если экран установлен высоко, а глаза широко открыты, нарушается функция моргания. Это значит, что глаза не закрываются полностью, не омываются слезной жидкостью, не получают достаточного увлажнения, что приводит к их быстрой утомляемости. Пример правильного расположения работника за ПК представлен на рисунке 65.

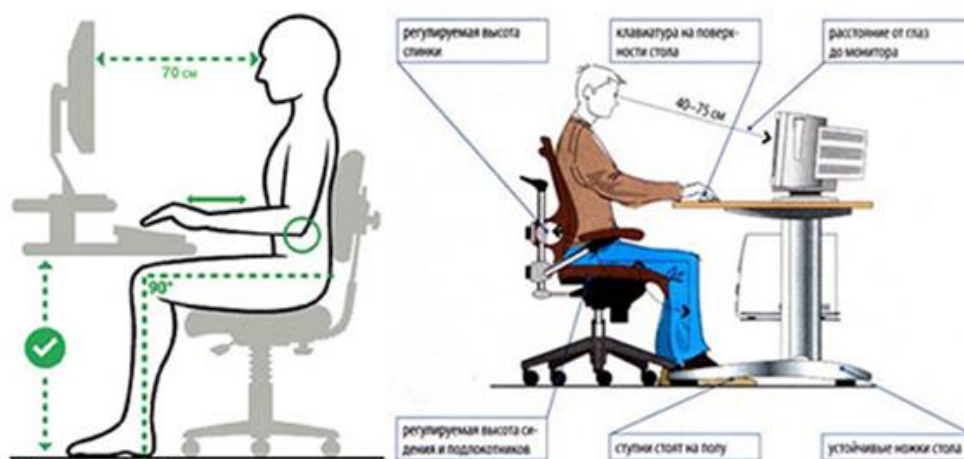


Рисунок 65 – Пример правильного расположения работника за ПК

8.2 Производственная безопасность

В данном пункте анализируются вредные и опасные факторы, которые могут возникать при проведении исследований в лаборатории, при

исследовании частотно-регулируемого электропривода. В таблице №40 представлены возможные вредные и опасные факторы, согласно нормативным документам.

Таблица 40 - Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1. Высокие уровни шума		+	+	Требования к параметрам шума устанавливает СП 51.13330.2011; ГОСТ 12.1.012-90;
2. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	Параметры микроклимата устанавливаются СанПиН 2.2.4.548-96; ГОСТ 12.1 005-88; СанПиН 2.4.2.2821-10
3. Сильные вибрации		+	+	Производственная вибрация устанавливается СН 2.2.4/2.1.8.566–96;
4. Недостаточная освещенность рабочей зоны		+	+	СП 5.13330.2016 Естественное и искусственное освещение; СНиП 23-05-95
5. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание, которой может произойти через тело человека	+	+	+	ГОСТ 12.1.038–88 ССБТ Предельно допустимые значения напряжения прикосновения и токов.

8.3 Описание технологического процесса и рабочего места

Технологический процесс разработки и проверки система управления электроприводом запорно-регулирующей арматуры заключается в следующем:

- Ознакомление и анализ литературы (статьи, диссертации, учебные пособия и монографии) по данной тематике.

- Компьютерное моделирование системы управления.
- Анализ полученных результатов моделирования.
- Проверка разрабатываемой системы управления на реальном двигателе.
- Анализ полученных результатов проверки.

В описанном технологическом процессе основным оборудованием является:

- Исследуемый асинхронный двигатель;
- Шкаф системы управления;
- Преобразователь частоты;
- Пользовательский компьютер;
- Монитор.

8.4 Анализ опасных производственных факторов и образование мероприятий по их устранению

Опасными производственными факторами при системе управления электроприводом запорно-регулирующей арматуры являются: [14]

- Поражения электрическим током;
- Вращающиеся элементы электропривода;
- Опасность загорания (пожара);

Поражение электрическим током персонала, работающего с электроустановками, является опасным для жизни человека и наступает при соприкосновении его с сетью не менее чем в двух точках. При разработке коллективных и индивидуальных средств защиты от поражения электрическим током необходимо, согласно правилам устройства электроустановок, рассмотреть следующие вопросы:

- а) обоснование категории помещения по степени опасности поражения электрическим током;
- б) требования к электрооборудованию;
- в) анализ соответствия реального положения на производстве перечисленным требованиям;
- г) мероприятия по устранению обнаруженных несоответствий;

д) обоснование мероприятий и средств защиты, работающих от поражения электрическим током.

Рассматриваемая лаборатория не имеет характеристик, свойственных особо опасным помещениям в части поражения электрическим током. Необходимо применение основных коллективных способов и средств электрозащиты: изоляция проводов и её непрерывный контроль; предупредительная сигнализация и блокировка; использование знаков безопасности и предупреждающих плакатов; защитное заземление и защитное отключение.

Также, используются индивидуальные электрозащитные средства. В установках до 1000 В, используются диэлектрические перчатки, указатели напряжения, диэлектрические коврики и боты, изолирующие подставки, а также инструмент с изолированными рукоятками.

При эксплуатации механизмов перемещения необходимо учитывать наличие и возможность воздействия следующих вредных факторов: [14]

- Повышенный уровень шума и вибрации;
- Повышенной запыленности и влажность в лаборатории где производится исследование;
- Недостаточной освещенности;
- Пониженной температуры воздуха в лаборатории.

Не допускается применение в организациях вредных веществ, материалов, продукции, товаров, а также оказание услуг, для которых не разработаны методики и средства метрологического контроля, токсикологическая (санитарно-гигиеническая, медико-биологическая) оценка которых не проводилась.

8.4.1 Шум и вибрации

Шум — один из наиболее распространенных неблагоприятных факторов производственной среды. Источниками звуков и шумов являются вибрирующие тела. При этом учащается пульс, дыхание, повышается

артериальное давление, изменяются двигательная и секреторная функции желудка и других органов. Люди, работающие в условиях шума, более быстро утомляются, жалуются на головные боли. Повышается давление крови, учащается или замедляется ритм сердечных сокращений, могут возникать различные заболевания нервной системы (неврастения, неврозы, расстройство чувствительности).

Источником шума и вибрации в лаборатории являются испытательные асинхронные двигатели, двигатели постоянного тока, синхронные машины, установленные на лабораторных стендах.

Допустимый уровень шума на рабочих местах составляет 80 дБА.

Для защиты от шума по СанПиН [2.2.4/2.1.8.562 – 96] и вибрации по СанПиН [2.2.4/2.1.8.566 – 96]

предусматриваются:

- Обеспечение персонала индивидуальными средствами защиты по ГОСТ 12.4.011 – 89, в качестве СИЗ Государственным стандартом предусмотрены заглушки–вкладыши "Беруши", заглушающая способность которых составляет 6–8 дБА;
- Установка звукоизолирующих кабин, кожухов;
- Устанавливаются виброизолирующие материалы под оборудование (пружины, резины и другие прокладочные материалы, которые гасят вибрации).

Допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звука и звукового давления на рабочих местах производственных помещений представлены в таблице 41. [12]

Таблица 41 – Допустимые уровни звукового давления

Помещения, рабочие места	Уровни звукового давления (дБ) в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								Уровни звука и эквивалентны е уровни звука, дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Помещения для инженерно- техническог о персонала цехов и служб	79	70	68	58	55	52	50	49	60
Помещения для размещения шумного оборудован ия	94	87	82	78	75	73	71	70	80
Мастерские механическ ие и по ремонт оборудован ия с собственны ми источникам и шума	99	92	86	83	80	78	76	74	85
Комнаты мастеров механическ ой мастерской, мастеров по ремонт оборудован ия	83	74	68	63	60	57	55	54	65

Допустимые величины вибрации представлены в таблице 42. [12]

Таблица 42 – Допустимые величины вибрации

Амплитуда колебаний вибрации, мм	Частота вибрации, Гц	Скорость колебательных движений, см/с	Ускорение колебательных движений, см/с ²
0,6-0,4	До 3	1,12-0,76	22-14
0,4-0,15	3-5	0,76-0,46	14-15
0,15-0,05	5-8	0,46-0,25	15-13
0,05-0,03	8-15	0,25-0,28	13-27
0,03-0,009	15-30	0,28-0,17	27-32
0,009-0,007	30-50	0,17-0,22	32-70
0,007-0,005	50-75	0,22-0,23	70-112
0,005-0,003	75-100	0,23-0,19	112-120

Приведенные нормы одинаковы для горизонтальных и вертикальных вибраций. Для снижения воздействия вибрирующих машин и оборудования на организм человека применяются следующие меры и средства:

- Замена неисправного элемента или полностью оборудования с вибрирующими рабочими органами на невибрирующие в процессах, где это возможно;
- Применение виброизоляции вибрирующих машин относительно основания (например, применение рессор, резиновых прокладок, пружин, амортизаторов);
- Использование дистанционного управления в технологических процессах (например, использование телекоммуникаций для управления транспортом из соседнего помещения).

8.4.2 Микроклимат

Микроклимат – это комплекс физических факторов, оказывающих влияние на теплообмен человека и определяющих самочувствие, работоспособность, здоровье и производительность труда.

Для создания и поддержания в лаборатории, независимо от наружных условий, оптимальных значений температуры, влажности, чистоты и скорости движения воздуха, в холодное время года используется водяное отопление, в теплое время года применяется кондиционирование воздуха. Кондиционер представляет собой вентиляционную установку, которая с помощью приборов

автоматического регулирования поддерживает в помещении заданные параметры воздушной среды.

Научно-исследовательская лаборатория управления электроприводами 253 восьмого корпуса ТПУ является помещением I б категории (таблица - 43), согласно СанПиН 2.4.2.2821-10. Допустимые величины интенсивности теплового облучения работающих на рабочих местах от производственных источников, нагретых до темного свечения (материалов, изделий и др.) представлены в таблице 43.

Таблица №43 оптимальные и допустимые нормы микроклимата

Период, Год	Категория работы	Температура, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, не более м/с
Холодный и переходный	легкая	20-23	60-40	0,2
Теплый	легкая	22-25	60-40	0,2

Для оценки воздействия параметров микроклимата в целях осуществления мероприятий по защите работающих от возможного перегревания используется ТНС-индекс, нормативные величины которого приведены в таблице 44. В таблице 45 представлены значения интенсивности теплового облучения .

Таблица 44 Допустимые величины ТНС-индекса

Категория работ по уровню энергозатрат, Вт.	Величины интегрального показателя, °С
Ia(до 139)	22,2-26,4
Iб(140-174)	21,5-25,8
IIa(175-232)	20,5-25,1
IIб(233-290)	19,5-23,9
III(более 290)	18,0-21,8

Таблица 45 - Допустимые величины интенсивности теплового облучения

Облучаемая поверхность тела, %	Интенсивность теплового облучения, Вт/м ² , не более
50 и более	35
25-50	70
Не более 25	100

В лаборатории проводится ежедневная влажная уборка и систематическое проветривание после каждого часа работы.

Согласно специальной оценки условий труда в ТПУ микроклимат Научно-исследовательской лаборатории управления электроприводами ТПУ, соответствует допустимым нормам.

8.4.3 Освещение

Неудовлетворительное освещение может исказить информацию, кроме того, оно вызывает утомление всего организма в целом. Освещение должно обеспечивать выполнение работы без напряжения зрения. Применяют два вида освещения: естественное и искусственное. Для искусственного освещения применяют электрические люминесцентные лампы[11]. Оценка освещенности рабочей зоны необходима для обеспечения нормативных условий работы в помещениях и проводится в соответствии с СанПиНом 2.2.1/2.1.1.1278-03. Нормируемый показатель искусственного и естественного освещения по п.191 составляет 150 лк.

При выборе системы освещения для производственных помещений всех назначений применяются системы общего (равномерного или локализованного) и комбинированного (общего и местного) освещения. Выбор между равномерным и локализованным освещением проводится с учётом особенностей производственного процесса и размещения технологического оборудования.

Система комбинированного освещения применяется для производственных помещений, в которых выполняются точные зрительные

работы. Применение одного местного освещения на рабочих местах не допускается.

Источники света, применяемые для искусственного освещения, делят на две группы – газоразрядные лампы и лампы накаливания.

Для общего освещения, как правило, применяются газоразрядные лампы как энергетически более экономичные и обладающие большим сроком службы. Наиболее распространёнными являются люминесцентные лампы. По спектральному составу видимого света различают лампы 42 дневной (ЛД), холодно-белой (ЛХБ), тёпло-белой (ЛТБ) и белой цветности (ЛБ).

Наиболее широко применяются лампы типа ЛБ. При повышенных требованиях к передаче цветов освещением применяются лампы типа ЛХБ, ЛД. Лампа типа ЛТБ применяется для правильной цветопередачи человеческого лица. Характеристики люминесцентных ламп приведены в таблице №46

Таблица №46 Основные характеристики люминесцентных ламп

Мощность, Вт	Напряжение сети, В	Световой поток			
		ЛД	ЛХБ	ЛБ	ЛТБ
15	127	700	820	835	850
20	127	880	1020	1060	1060
30	220	1650	1940	2020	2020
40	220	2300	2700	2800	2850
65	220	3750	4400	4600	4600
80	220	4250	5000	5200	5200
125	220	-	8000	-	8150

Основные требования и значения нормируемой освещённости рабочих поверхностей изложены в СНиП 23-05-95. Выбор освещённости осуществляется в зависимости от размера объёма различения (толщина линии, риски, высота буквы), контраста объекта с фоном, характеристики фона.

8.5 Экологическая безопасность

Работа в лаборатории сопряжена с образованием и выделением газообразных, жидких и твердых отходов.

Газообразные отходы, загрязняющие воздух помещения: естественные выделения - углекислый газ, пары воды, летучие органические соединения и др. Перед выбросом воздух помещений подвергается обязательной очистке в фильтровентиляционных системах, что предотвращает атмосферу от загрязнения.

Жидкие отходы - бытовые отходы, образующиеся в процессах влажной уборки помещений, при пользовании водопроводом, туалетом и т.п., сбрасываются в городскую канализацию и далее поступают в системы централизованной очистки на городских очистных сооружениях. При обращении с твердыми отходами: бытовой мусор (отходы бумаги, отработанные специальные ткани для протирки офисного оборудования и экранов мониторов, пищевые отходы); отработанные люминесцентные лампы; офисная техника, комплектующие и запчасти, утратившие в результате износа потребительские свойства – надлежит руководствоваться Постановлением Администрации г. Томска от 11.11.2009 г. №1110 (с изменениями от 24.12.2014): бытовой мусор после предварительной сортировки складировать в специальные контейнеры для бытового мусора (затем специализированные службы вывозят мусор на городскую свалку); утратившее потребительские свойства офисное оборудование передают специальным службам (предприятиям) для сортировки, вторичного использования или складирования на городских мусорных полигонах.

Отработанные люминесцентные лампы утилизируются в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 03.09.2010 №681. Люминесцентные лампы, применяемые для искусственного освещения, являются ртутьсодержащими и относятся к 1 классу опасности. Ртуть люминесцентных ламп способна к активной воздушной и водной миграции. Интоксикация возможна только в случае разгерметизации колбы, поэтому основным

требованием экологической безопасности является сохранность целостности отработанных ртутьсодержащих ламп. Отработанные газоразрядные лампы помещают в защитную упаковку, предотвращающую повреждение стеклянной колбы, и передают специализированной организации для обезвреживания и переработки. В случае боя ртутьсодержащих ламп осколки собирают щеткой или скребком в герметичный металлический контейнер с плотно закрывающейся крышкой, заполненный раствором марганцево-кислого калия. Поверхности, загрязненные боем лампы, необходимо обработать раствором марганцево-кислого калия и смыть водой. Контейнер и его внутренняя поверхность должны быть изготовлены из не адсорбирующего ртути материала (винипласта).

К сфере защиты ОС и рационального использования природных ресурсов относится и экономия ресурсов, в частности, энергетических. Реальным вкладом здесь может стать экономия электрической и тепловой энергии на территории предприятия.

- Во-первых, это улучшает экономические показатели деятельности предприятия (уменьшение расходов на электротепловую энергию).
- Во-вторых, экономия энергии означает уменьшение газа, мазута, угля, сжигаемого в топках котлов ТЭС и электроустановок (котельных) промпредприятий города Томска и области и одновременное уменьшение выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух.

Несмотря на кажущуюся малость вклада в энергосбережение и в защиту атмосферного воздуха от загрязнения массовое движение в этом направлении, в том числе, в быту, принесет значимый эффект.

8.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Наиболее вероятные чрезвычайные ситуации при исследовании электропривода запорной арматуры: возникновение пожара (загорания) и поражение электрическим током.

Пожары – неконтролируемый процесс горения, которые чреваты большими материальными издержками, а часто и человеческими жертвами.

Обеспечение пожаробезопасности начинается с определения класса взрывоопасной зоны или класса пожароопасной зоны данного участка. Согласно классификации производств по пожарной опасности рассматриваемая лаборатория относится к классу Б (наличие горючих волокон или пыли рассматриваемого участка): источником взрыва может послужить короткое замыкание или из-за нарушения электроизоляции. Кроме взрывоопасных зон имеется пожароопасная зона класса П-П. Для этих зон используется специальное оборудование во взрывозащищенном или пожарозащищенном исполнении.

Использование электрооборудования во взрыво-пожарозащищенном исполнении – одно из направлений профилактики, другое направление установка систем взрыва и пожарной сигнализации. Такие системы должны быть установлены на объектах, где воздействие опасных факторов взрыва и пожара может привести к травматизму или гибели людей, этого требует «технический регламент о требованиях пожарной безопасности». Участок должен быть оснащен такой системой, которая включает систему протоколирования информации, формируют управляющую систему тревоги и систему оповещения о пожаре, для своевременной эвакуации людей. Это другое направление профилактики загораний. Выбор систем взрывоподавления и пожаротушения для участка требует специального рассмотрения и расчетов.

Основными причинами пожара могут быть: перегрузка проводов, короткое замыкание, большие переходные сопротивления в электрических цепях, электрическая дуга, искрение и неисправности оборудования.

Организационно-технические мероприятия: наглядная агитация и инструктаж работающих по пожарной безопасности, разработка схемы действий администрации и работающих в случае пожара и организация эвакуации людей, организация внештатной пожарной дружины.

В соответствии с ТР «О требованиях пожарной безопасности» для административного жилого здания требуется устройство внутреннего противопожарного водопровода.

Согласно ФЗ-123, НПБ 104-03 «Проектирование систем оповещения людей о пожаре в зданиях и сооружениях» для оповещения о возникновении пожара в каждом помещении должны быть установлены дымовые оптико-электронные автономные пожарные извещатели, а оповещение о пожаре должно осуществляться подачей звуковых и световых сигналов во все помещения с постоянным или временным пребыванием людей.

Лаборатория 253 восьмого корпуса ТПУ оснащена первичными средствами пожаротушения: огнетушителями ОУ-3 1шт., ОП-3, 1шт. (предназначены для тушения любых материалов, предметов и веществ, применяется для тушения ПК и оргтехники, класс пожаров А, Е.).

Таблица №46 – Типы используемых огнетушителей при пожаре в электроустановках

Напряжение, кВ	Тип огнетушителя (марка)
До 1,0	Порошковый серии ОП
До 10,0	Углекислотный серии ОУ

Согласно НПБ 105-03 помещение, предназначенное для проектирования и использования результатов проекта, относится к типу П-2а.

Таблица 47 - Категории помещений по пожарной опасности

Категория помещения	Характеристика веществ и материалов, находящихся в помещении
П – 2а	Зоны, расположенные в помещениях, в которых обращаются твердые горючие вещества в количестве, при котором удельная пожарная нагрузка составляет не менее 1 мегаджоуля на квадратный метр.

В корпусе № 8 ТПУ имеется пожарная автоматическая сигнализация. В случае возникновения загорания необходимо обесточить электрооборудование, отключить систему вентиляции, принять меры тушения

(на начальной стадии) и обеспечить срочную эвакуацию студентов и сотрудников в соответствии с планом эвакуации.

На рисунке 66 представлен план эвакуации из лаборатории 253 8 корпуса ТПУ.



Рисунок 66 – План эвакуации из лаборатории 253 8 корпуса ТПУ

Вывод по разделу «социальная ответственность»

В результате выполнения раздела «Социальная ответственность» были проанализированы вредные и опасные факторы, воздействующие на научного сотрудника, в момент выполнения его работы, согласно действующей нормативно – технической документации. Рассмотрены правовые и организационные моменты по обеспечению безопасности труда. Так же предложены основные меры по профилактике и ликвидации воздействий пагубных факторов на организм человека, таких как шум, вибрация, микроклимат, освещение и т.д. В данном разделе были проанализированы такие вопросы, как экологическая безопасность, безопасность в чрезвычайных ситуациях. Для этого рассмотрены возможные случаи их возникновения и проработаны методы по их предотвращению.

Отталкиваясь от всего вышесказанного, можно прийти к выводу, что, с точки зрения эффективности трудовой деятельности работника, правильная

организация рабочего места играет колоссальную роль. Правильные условия труда способствуют повышению эффективности и производительности работ научного сотрудника. При соблюдении всех выше перечисленных мер безопасности, научный сотрудник будет полностью защищен от влияния опасных и вредных факторов, чрезвычайных ситуаций, несчастных случаев. Так же будут соблюдаться экологические нормы безопасности.

Данный раздел имеет большую значимость в практическом применении, так как предоставленный материал соответствует нормативным документам, которые регламентируют влияние на человека, каждого выявленного опасного или вредного фактора.

Заключение

Целью магистерской диссертации является разработка и исследование электропривода запорной арматуры нефтепровода на базе асинхронного электропривода с преобразователем частоты.

В соответствии с техническим заданием, разработан электропривод запорной арматуры нефтепровода. За основу взята запорная арматура марки Vanessa 30,000. Произведен выбор специализированного асинхронного двигателя марки ST90MB с малой инерцией ротора, предназначенный для работы с преобразователем частоты марки KEB COMBIVERT 10.F5.M2B-3A10 с реализацией частотного векторного управления. Выполнен расчет параметров двигателя и построены его механические и электромеханические характеристики. В программной среде MatLab Simulink, составлена имитационная модель электропривода при пуске без нагрузки и набросе нагрузки, полученные его переходные характеристики.

Далее в работе произведена оптимизация контуров регулирования и их синтез, так же была исследована математическая модель системы управления асинхронным двигателем и выполнены исследования данных имитационных моделей, в программной среде MatLab Simulink R2017b, результаты которых подтвердили соответствие показателей качества с ожидаемым. В моделях применен задатчик положения для оптимального задания кривой угла.

По итогам проделанной работы представлены рекомендации для настройки контуров преобразователя частоты, приведены переходные процессы по регулируемым величинам, которые соответствуют настройкам контуров. Результаты данного исследования доказывают, что разработанная система автоматизированного электропривода запорной арматуры на базе асинхронного двигателя с преобразователем частоты соответствует требованиям технического задания.

В разделе магистерской диссертации «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» была доказана конкурентоспособность технического решения по сравнению с другими

конкурентоспособными электроприводами запорной арматуры. Произведен FAST анализ и SWOT-анализ, построена диаграмма Исаева, составлен ленточный график проведения работ в форме диаграммы Ганта, по результатам которой выполнение работы занимает 118 дней, из которых 24 рабочих дня у руководителя и 94 дня у инженера. Расчет бюджета НТИ составил 313216,124 руб.

В результате выполнения раздела «Социальная ответственность» были проанализированы вредные и опасные факторы, воздействующие на научного сотрудника, в момент выполнения его работы, согласно действующей нормативно – технической документации. Рассмотрены правовые и организационные моменты по обеспечению безопасности труда. В данном разделе были проанализированы такие вопросы, как экологическая безопасность, безопасность в чрезвычайных ситуациях. Для этого рассмотрены возможные случаи их возникновения и проработаны методы по их предотвращению.

Список литературы

1. Выбор регулирующей арматуры НПС «Степаньково». Техническая документация
2. Servomotors KEB ST. Guidance.
<http://www.servotechnica.ru/servomotors> (Дата обращения 12.03.2020г.)
3. Servomotor KEB ST 90. <http://www.servotechnica.ru/servomotors> (Дата обращения 12.03.2020г.)
4. Чернышев А.Ю., Чернышев И.А., Расчет характеристик электроприводов переменного тока. Ч.1. Асинхронный двигатель: Учебное пособие. – Томск, 2005. – 136 с.
5. Дементьев Ю. Н., Чернышев А. Ю., Чернышев И. А.; Электрический привод: учебное пособие для академического бакалавриата / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). — 2-е изд.. — Москва: Юрайт, 2016. — 223 с.: ил. — Университеты России.
6. Чернышев, Александр Юрьевич. Электропривод переменного тока: учебное пособие для академического бакалавриата / А. Ю. Чернышев, Ю. Н. Дементьев, И. А. Чернышев. — Москва: Юрайт, 2018. — 215 с.. — Серия: Университеты России.
7. Копылов И. П. Электрические машины: Учебник для вузов.— М.: Энергоатомиздат, 1986. — 360с.
8. Frequency converter KEB Combivert F5-M/S. Guidance
9. Преобразователь частоты с управлением вектора потока EI-9011. Руководство по эксплуатации.
<https://profsector.com/media/catalogs/5781fa89326af.pdf> (Дата обращения 12.04.2020г.)
10. Поздеев А.Д. Электромагнитные и электромеханические процессы в частотно-регулируемых асинхронных электроприводах. — Чебоксары: Изд-во Чуваш. Ун-та, 1998 г., 172 с.

- 11.Шрейнер Р.Т., Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты, Екатеринбург УРО РАН, 2000 г.
- 12.Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений. СНиП 2.01.02-85. – М.: Стройиздат, 1976
- 13.Егорин В.Н. Расчет опасности поражения электрическим током. – Томск: изд-во ТПИ, 1969
- 14.ГОСТ 12.3.002-75 ССБТ. Требования безопасности и производственным процессам
- 15.Управление проектами./под ред. Шапиро С.И. – С-Петербург, 1993

Приложение А
(справочное)

Electrical drive of shut-off valves of oil pipeline

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM87	Фазлыхметов Д. Р.		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Чернышев А. Ю.	к.т.н.		

Консультант – лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Качалов Н. А.	к.п.н.		

Introduction

The electric drive is one of the main components in many areas of modern technical civilization. Various types of electric motors and power converters have found the wide application of modern electric drive systems. Electric drives are used to drive pumping compressor units, to control oil flow, as a gate valve drive and for other auxiliary needs in the field of oil fuel transportation.

The efficient and safe operation of the whole oil transportation system directly depends on the fast, accurate and reliable operation of the electric drives (actuators) of the stop valves in the oil industry. Thus, the task of developing and researching electric drives for the control of stop valves in the oil industry is relevant and timely.

This final graduate work is supposed to discuss the solution of issues related to the development and research on the possibilities of using AC asynchronous electric drive systems for the control of shut-off valves.

Gate valve

A gate valve is a valve that opens by turning a round or rectangular gate out of the path of the fluid. Gate valves are often used in the oil industry. The flow change occurs near shutoff with a relatively high fluid velocity causing gate and seat wear. Typical gate valves are designed to be fully opened or closed. When fully open, the typical gate valve has no obstruction in the flow path, resulting in very low friction loss. Gate valves are actuated by a threaded stem which connects the actuator (e.g. hand wheel or motor) to the gate. The valves are actuated by a shaft that connects the actuator (for example, a flywheel or motor) to the valve. The driveshaft is attached to the working body of the valve and rotates with it during operation of the valve, providing a visual indication of the position of the working body. [1]

Construction of a Shutoff Valve

Gate valves consist of three major components: body, bonnet, and trim. The body is generally connected to the piping by means of flanged, screwed, or welded connections. The bonnet, containing the moving parts, is joined to the body, generally with bolts, to permit cleaning and maintenance. The valve trim consists of the stem, the gate, the wedge, or disc, and the seat rings.

Two basic types of gate valves are the manufactured-wedge type and the disk type of shut-off valves, and there are several variations within each of these types

Wedge Type

There are four types of wedges: solid, hollow, split, and flexible wedge. The solid wedge is a single-piece solid construction. It does not compensate for changes in seat alignment due to pipe end loads or thermal fluctuations. As such it is most susceptible to leakage. Solid-wedge gate valves are considered the most economical. Almost all small gate valves are solid-wedge gate valves. Solid-wedge gate valves are generally used in moderate to lower pressure-temperature applications. It is common practice to use cast iron or ductile iron solid-wedge gate valves in cold or ambient water lines.

A hollow wedge is a variation of the solid wedge with the exception of a hole in the center. The hollow wedge travels along the stem when the threaded stem is rotated, thus opening or closing the valve port.

In the wedge or disc-wedge types either a tapered solid or tapered split wedge is used. In the rising stem valves, the operating threads are out of direct contact with the fluid or oil. The non-rising stem type is preferred where space is limited and where the fluid passing through the valve will not corrode or erode the threads or leave deposits on the threads. Also, the non-rising stem valve is preferred for buried service. When the valve is closed, the gate disc is wedged on both sides against the seat. In split-wedge gate valves, the two-piece wedge disc is seated between matching tapered seats in the body. This type is preferred where the body seats might be distorted due to pipeline strain.

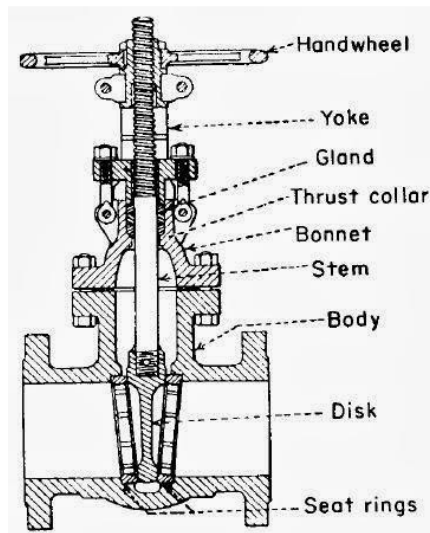


Figure A.1 - Rising-stem solid-wedge gate valve

The upper part of the stem is threaded and a nut is fastened solidly to the hand wheel and held in the yoke by thrust collars in the rising-stem type of valve. As the hand wheel is turned, the stem moves up or down [2]. In the non-rising stem valve, the lower end of the stem is threaded and screws into the disc, vertical motion of the stem being restrained by a thrust collar. The rising-stem valve requires a greater amount of space when opened.

However, it is generally preferred because the position of the stem indicates at once whether the valve is open or closed. Non-rising stem valves are sometimes provided with an indicator for this purpose.

Disk type

A disk valve is one of the most common types of valves. The disc-shaped locking or adjusting element of the disc shutter rotates about an axis located perpendicular or at an angle to the direction of flow of the working medium. The stroke of the disc shutter is the rotational movement of the locking element.

Disk valve — the reliable and perspective type of pipeline fittings used at the wide range of operating pressures and temperatures.



Figure A.2 - Design of disk-type shut-off valves

The simplest option of design of a disk lock - a lock without eccentricity - the disk rotating on a shaft, is placed in the case which is a short piece of a pipe. The axis of disk rotation crosses the axis of sealing seat. The full angle of rotation is 90 degrees. In the open-to-end position, when the disk is mounted along the axis of the housing, the flow is subjected to minimal resistance. Disk gates with asymmetrically mounted disk are typically used in low-pressure pipelines.

A significant step forward in the development of its "classic" (when it crosses the seal axis) position of the disk gates was the location of the disk with eccentricity. In this case, the axis around which the disk rotates is displaced.

Eccentricity can be double and even triple. It is achieved by shifting the axis of rotation of the disk not only relative to the axis of symmetry of the seal but also relative to the center of the disk itself. This technical solution brought several significant advantages at once.

It has been possible to provide a conical abutment of the disc to the sealing surfaces, ensuring that they are in reliable contact over the entire area of contact. The disk exits this contact at the minimum opening angle. Such immediate separation, without deformations and slipping, eliminates friction which would result in the rapid wear of the seals. When the disc is returned to the closed position, it is again very high, up to Class A, tightness.

The design and quality of the disk largely determine the locking and regulating characteristics of the disk shutter. The discs try to make as streamlined as possible to minimize hydraulic losses.

Classification of disk latches

Depending on the initial position of the locking element, the disk gates are normally open and normally closed. At the first, at the termination of supply of the energy creating permutable effort, the lock opens, at the second — is closed.

According to the type of connection to the pipeline there are flange gates (flanged disk gate), inter-flange (tie-up), coupling and welding gates. Interlinear disk gates are inserted between pipe flanges. Mating parts of the pipeline can be supplied for the flange version gates.

Depending on the type of the drive allocate the following kinds of disk locks: electric pneumatic, hydraulic, manual, manual with a reducer, under remote control.

Drives of disk shutters shall have interlocking of simultaneous operation of the drive and manual backup.

Typically, the drive devices are self-locked so that the drive can counteract forces from the working medium flow to rotate the disc.

The hand-held disc shutter can be controlled by providing for its quick opening and closing of the handle or flywheel.

Characterized by positioning accuracy, high operational parameters and simple control, the electrically driven disc shutter is ideal for automatic process control systems.

Advantages of disk shutoff valves

The disk gate has many advantages, which are advantageous to distinguish it from other types and varieties of pipeline valves, which are used in similar "positions.

When comparing a disk shutter to a valve, it is faster, lighter, smaller in size. Disk gates have high tightness. The cost of the disk gate is lower than its counterparts.

The huge advantage of disk locks — compactness (small construction height and construction length) that significantly facilitates their installation. With minimal space, they deliver high performance. Investigation of the compact sizes — low weight.

An important property of disk locks is the simplicity of operation caused by construction features. For example, a small number of parts. This quality is expressed in high maintainability — a minimum of labor costs, high qualification of service staff and use of the special equipment are not required.

Disk gates are characterized by good controllability, both in manual control and by various drives. The design of the disk gates allows a high level of automation of the pipeline systems.

In the case of quality manufacture and correct operation, the service life of disk gates is up to 30 years. To it. Absence of friction parts and threaded working pairs.

The advantages of disk gates also include high throughput, rapid actuation and low hydraulic losses.

Disadvantages of disk shutoff valves

Unfortunately, the disk gates have their own disadvantages inherent only in this type of reinforcement. Installation and operation of disk gates shall be provided:

- The maximum permissible pressure in the pipeline is 1.6 MPa;
- In systems where no crystalline deposits form within pipelines;
- Necessity to use reduction gearbox in flaps with a diameter of 150 or more millimeters;
- A large error in determining the capacity of the damper at different disk positions [3].

Valve drives (Actuators)

A single facility can have hundreds, if not thousands, of valves to control everything from turbine operation to ventilation, to systems that ensure the safety of personnel and equipment. The valves used can range in size from less than an inch to several feet in diameter. While some of these valves are designed to be operated manually, many of them require some form of automatic or remote operation.

Operators and technicians must understand the different types of actuators used to operate these valves, and how these actuators work.

Valve actuators are devices used to position valves. They can be used to fully open and shut a valve, or in an application that requires constant and precise control, such as regulating the flow of fuel to an oil turbine, modulate the position of the valve.

There are many applications that call for the use of actuators, such as:

- Automating a process;
- Positioning valves that require large amounts of torque to operate;
- Instantaneous operation of systems used to protect personnel and equipment from dangerous conditions;
- Use in controlling areas where manual operation is impractical or impossible;
- Continually adjusting systems that must maintain desired parameters.

Types:

There are three basic types of automatic valve actuators: those that are controlled by pressurized air, by electrical power, or by hydraulic force. Selecting the proper actuator is based on the following considerations:

- The valve application;
- The means available to power the actuator;
- The speed at which the valve needs to operate;
- The amount of force required to operate the valve;
- The type of valve to be operated.

Pneumatic

Pneumatic actuators use pressurized air to operate a valve. They do this by applying the force of the air to a piston or a diaphragm attached to the valve stem. Pneumatic actuators are used to provide automatic or semi-automatic valve operation and are the most popular type in use due to their dependability and simplicity of design.

The advantages of pneumatic actuators include:

- Dependability and simplicity of design;
- Fast stroking speeds;
- Low fire risk;
- Low costs;
- Pressurized air can be stored, so the valves can be operated when power is lost.

The disadvantages of pneumatic actuators include:

- Poor performance at slow speeds;
- Compressibility of air, which can lead to inconsistent speeds of shaft movement;
- Impossible to precisely control position, unless fully open or shut.

Due to their simple design, high reliability, and low cost, pneumatic diaphragm actuators are used in many industrial applications. For example, pneumatic diaphragm actuators are often used to control cooling water flow in power plants.

Electric

Electric actuators include electric motors and solenoid-actuated valves. Electric motors can be used to open, close, and position a valve manually, automatically, or semi-automatically. The motor operates in both directions and drives the valve stem by means of gear couplings. Solenoid valves use electric power to attract a magnetic slug attached to the valve stem and are used in automatic open-close applications [1].



Figure A.3 - Electric Valve Actuator

The advantages of electric actuators include:

- No source of pressurized air or fluid required.
- Useful where low temperatures could cause freezing of condensation in air supply lines.
- Capable of producing very large amounts of torque.
- Capable of producing consistent and adjustable operating speeds.
- Electric cables are easier than piping to route to an actuator.

The disadvantages of electric actuators include:

- More expensive and complex than other types of actuators.
- Slower comparative operation speeds.
- Susceptible to a loss of power.
- Potential fire hazard.

When a facility is located in a cold enough climate, any moisture trapped in pneumatic control lines can freeze, removing control of that valve. In conditions such as this, many facilities will rely on electric motor actuators for reliability and efficiency during extreme temperatures.

Hydraulic

Hydraulic actuators use pressurized fluid to control valve movement. The hydraulic fluid used is either water or oil and is fed to either one or both sides of a piston to cause movement. Hydraulic valves provide for automatic and semi-automatic valve operation.

The advantages of hydraulic actuators include:

- More powerful than a pneumatic actuator of the same size.
- Precise control of valve position.
- Capable of converting a small input pressure into a large output pressure.
- Incompressibility of the fluid, which means very little energy is lost during operation.

The disadvantages of hydraulic actuators include:

- External hydraulic pump required.
- Efficiency can be influenced by changes in temperature.
- More expensive and complex than pneumatic actuators.
- Can leak, causing a potential fire hazard.

Hydraulic actuators are often used to operate the main stop and control valves for high-pressure steam turbine piping. The actuator's ability to operate the valve against the high-pressure steam, as well as the ability to quickly shut the valve on the loss of control oil, makes hydraulic actuators well suited for this task [4].

General requirements for Shut-off / Gate Valve Actuators

In general, for the control of gate valves the following are used:

- Piston drives (pneumatic, thermohydraulic and electrohydraulic);
- Pneumatic drives with a jet motor;
- Electric drives with a mechanical gear;
- Manual drives with a mechanical gear;
- Handles (levers), flywheels.
- The drive control system provides remote and local control, including:
- Closing and opening of the valves, stopping the locking device in an intermediate position from the remote and local controls;
- Automatic opening of the electrical circuit by the limit switches when the locking device reaches the end positions;

- Exclusion of the spontaneous movement of the locking device under the influence of the working environment.

Electric drives operate on three-phase alternating current with a voltage of 380 V, 50 Hz, single-phase current of 220 V, 50 Hz (or other - at the request of the customer) and a hand wheel.

The electric parts of all the types of drives have an explosion-proof design of class 1ExdIIBT3 in accordance with GOST R51330.0 and the degree of protection of the enclosure is not lower than IP 66 (IP 55 for solenoids placed in a sealed enclosure) in accordance with GOST 14254, with a double seal and an insulated terminal block. Electrical equipment is operable at 100% relative humidity of the ambient air at a temperature of 25 ° C [4].

The drive, when indicated in the order, works in automatic control systems, with the use of microprocessor technology. The drive's housing is protected against the external environment. Electric drives and control units are earthed in accordance with the requirements of the rules for the installation of electrical equipment [3]. Inside the drive's housing, the parts that need to be lubricated are treated with lubricants, and an access device for monitoring and lubrication during operation without disassembling the drive is available.

The drive has devices (eyelets, eyebolts, etc.) for its slinging when mounted on the armature. If the drive is delivered already mounted on the armature, the slinging devices are calculated for the total weight of the armature and the drive. The scheme for slinging and mounting is included in the delivery. The scheme for slinging the drive or the armature assembly with the drive avoids the possibility of damage to the slings, machine parts and the piping of the armature and drive.

At delivery, the drive is mounted on the armature, if it's transportation is possible. In case of a separate delivery of the drive, the supplier is obliged to provide detailed instructions on the installation of the drive and control system.

Electric drives/actuators

Electric drives for the control of shut-off valves/armature have found the greatest popularity in comparison with other drives due to such advantages as the simplicity and reliability of their design, and also owing to the widespread availability of electric power through industries. Figure 4 shows the intelligent electric drive AUMA SA AT230-01.

Electric drives for shut-off valves can consist of a quarter of a revolving electric drive or a multi-turn drive and a quarter of a reverse gear reducer.

The gear reducer, as a rule, has the following structure:

- worm reducer;
- spur reducer;
- helical-worm gear reducer.

It is possible to use a cylindrical or planetary reducer. The gear reducer is placed in a sealed enclosure and its internal parts are greased or oiled.

The gear reducer has a self-locking mechanical transmission. The electric drives have adjustable mechanical stops for the extreme positions of the valve and electric limit switches for the extreme positions of the valve gates. Electric drives automatically shut off the motor when the valve reaches the extreme positions and send a signal to the control board of the electric drive [4].

The limit switches of the electric drive have two separate pairs of contacts to ensure the following operations at the end positions of the locking body:

- stopping the electrical signal to the motor or opening the electric circuit of the drive's starter - the first pair of contacts;
- sending a remote electrical signal after the locking body changes from one end position to the other - the second pair of contacts.

The limit switches of the electric drive ensure reliable switching of the control circuits of the electric drive or, when the circuit is provided with a circuit-breaker, directly to the power supply circuits of the electric drive.

Electric drives have mechanical or (and) electric torque limiters. The setting of the limiting torque values is adjustable. The electric drives disconnect the motor when the torque limits are exceeded at the output shaft at any moment and also at the extreme positions and signal this to the control panel of the electric drive.

The electric drives hinder movement in the same direction that caused the motor to switch off when the torque limit was reached. The electric control circuit of the electric drive provides for a blocking, which prevents the motor from starting spontaneously.

The electric drives have valve position indicators:

- on the gearbox (the indicator must be mechanically connected to the spindle of the crane);
- on the position indicator of the multi-turn electric drive.

The maximum temperature of the surface of the shells of electrical devices in the electric drive does not exceed 200 ° C (temperature class T3 in accordance with GOST R51330.0). The operating mode of the electric drives is repetitive short-term, not lower than S4, with the duration of the switch-on (PV) of at least 25% in accordance with GOST 183.

The electric drives operate on three-phase AC with a voltage of 380 V, 50 Hz. At the request of the customer it is possible to supply electric drives with other parameters (from 200 to 660 V, 50 Hz).

The cable entry of the electric drives is carried out via a stuffing box or a plug-in device [5].

Electric drives have elements for earthing in accordance with GOST12.2.007.0, and these are made in accordance with GOST21130. Earthing clamps are provided with a device against unscrewing. The resistance between earthing elements and accessible non-conductive metal parts of electric drives, which may be under-voltage, does not exceed 0.1. AUMA SA AT230-01.



Figure A.4 - Intelligent electric drive AUMA SA AT230-01

Electric drives are classified according to the following characteristics:

1. Requirements for protection against explosion - into normal and explosion-proof versions.
2. By the type of reducer used – drives with worm, gear and planetary gearboxes.
3. By the method of disconnection/switching off in final positions: mechanical with a clutch for torque limitation; electric with a maximum current limiting relay; combined mechanical and electrical.
4. By the method of connection with the stop valves' spindle: a sleeve with a square and a sleeve with cams.

In turn, the torque limiting clutch can be a one-sided or two-sided action. In addition, the method of operation of the clutch can be frictional action: with a movable worm; with a radial cam; with an end fist.

Electric drives of 2 groups are manufactured:

1. Drives whose torque clutch is one-sided (that is, they only work to close the valve).
2. Drives with a two-directional clutch. These drives are universal, they can control any fittings, they are produced with an explosion-proof design, and they work both for closing the valve and for opening it. At the present time electric drives of the 2nd group are produced.

Principles of operation:

The operator at the dispatching and operating section of the pipeline by the push of a button controls the limit switch, which drives the motor, the rotation of which is transmitted through the reducer to the output shaft of the drive. The latter rotates the shaft or spindle of the gate valve.

Conclusion

The purpose of the master's thesis is to develop and study the electric drive of the shut-off valves of the oil pipeline on the basis of an asynchronous electric drive with a frequency converter.

In accordance with the technical assignment, has been developed the electric drive of the shut-off valves of the oil pipeline. The base is Vanessa 30,000 shut-off valves. A specialized induction motor of ST90MB grade with low rotor inertia was selected for operation with frequency converter of KEB COMBIVERT grade 10.F5.M2B-3A10 with the implementation of frequency vector control. Engine parameters are calculated and mechanical and electromechanical characteristics are built. In the software environment. In the software environment MatLab Simulink, the simulation model of the electric drive at start-up without load and under load, obtained its transient characteristics.

Optimization of control circuits and their synthesis were carried out, as well as the mathematical model of the asynchronous motor control system was studied and studies of data of simulation models were carried out, the results of which confirmed compliance of quality indicators with the expected ones. Models use a position setter to set the angle curve optimally.

Based on the results of the performed work, recommendations for adjustment of frequency converter circuits are presented, transient processes on adjustable values, which correspond to the contour settings, are given. The results of this study prove that the developed system of the automated electric drive of shut-off valves based on the asynchronous motor with frequency converter meets the requirements of the technical assignment.

References

1. Jatkar K.H., Dhanwe S. Finite Element Analysis of Gate Valve // International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT). - 2013. - Vol. 2, No. 10. - pp. 36–44.
2. Srivastava S., Shet K., Kulkarni S. A comparative study of two methodologies for nonlinear finite element analysis of knife edge gate valve sleeve // International Journal of Mechanical Engineering and Technology. - 2015. - Vol. 6, No 12. - pp. 81-90.
3. Pujari A., Joshi G., Anyalysis and Design Optimization of Gate Valve Body Using Fea and Stress Anylasis // International Journal of Research in Engineering and Technology. - 2013. - Vol. 3, No 5. - pp. 135-140.
4. Bhaskar P., Gambhire V. Structural Analysis of Gate Valve Body Using F.E.A. // International Journal of Engineering Research & Technology. - 2014. - Vol. 3, No 6. - pp. 135-138
5. Sathishkumar S., Hemanathan R., Gopinath R., Dilipkumar D. Design and Anyalysis of Gate Valve and Seat Ring // International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET). - 2017. - Vol. 8, No 3. - pp. 131-141.